

Mestrado em Sistemas Integrados de Gestão

QUALIDADE QUÍMICA E BIOLÓGICA DO AR DA GUARDA



julho | 2014





Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Instituto Politécnico da Guarda

QUALIDADE QUÍMICA E BIOLÓGICA DO AR DA GUARDA

INÊS CATARINA PINHEIRO DOS SANTOS LISBOA

PROJETO APLICADO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE

EM SISTEMAS INTEGRADOS DE GESTÃO (AMBIENTE, QUALIDADE, SEGURANÇA E

RESPONSABILIDADE SOCIAL)

Julho/2014



Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Instituto Politécnico da Guarda

QUALIDADE QUÍMICA E BIOLÓGICA DO AR DA GUARDA

Orientador: Professor Doutor Pedro Miguel dos Santos Melo Rodrigues

Coorientador: Professor Doutor Joaquim Esteves da Silva

INÊS CATARINA PINHEIRO DOS SANTOS LISBOA

PROJETO APLICADO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE

EM SISTEMAS INTEGRADOS DE GESTÃO (AMBIENTE, QUALIDADE, SEGURANÇA E

RESPONSABILIDADE SOCIAL)

Julho/2014

AGRADECIMENTOS

É com muita satisfação, que expresso neste espaço o meu profundo agradecimento a todos aqueles que tornaram possível a realização deste projeto.

Gostaria, antes de mais, de agradecer ao Professor Doutor Pedro Miguel dos Santos Melo Rodrigues, por ser o orientador deste projeto. Agradeço as valiosas críticas e sugestões, a incansável motivação que me transmitiu e a sua total disponibilidade.

Queria também agradecer ao coorientador Professor Doutor Joaquim Esteves da Silva pela disponibilidade demonstrada e apoio fornecido ao longo da execução deste projeto.

Agradeço à Associação de Agricultores para a Produção Integrada de Frutos de Montanha (AAPIM) pela gentil disponibilização de alguns dados meteorológicos.

Desejaria também deixar um agradecimento a todos os professores que lecionaram o primeiro ano do Mestrado e que incutiram em mim conhecimentos relevantes para a minha formação tanto pessoal, como profissional.

Aos meus pais, um muito obrigada pela sólida formação, educação e apoio incondicional que me transmitiram, em todos os momentos. Serão sempre o meu porto seguro.

Por fim, mas não menos importante, gostaria de agradecer aos meus amigos, família e namorado, pelo incentivo demonstrado, sem reservas, em todas as circunstâncias.

RESUMO

A qualidade do ar tem como requisito principal a concentração e o tipo de poluentes atmosféricos, que em elevadas concentrações, afetam negativamente os ecossistemas, o património edificado, mas acima de tudo a saúde humana. A Organização Mundial de Saúde (OMS) identifica a poluição atmosférica como a responsável pela morte de 7 milhões de pessoas em 2012 dos quais 3,7 milhões, estão relacionadas com a poluição do ar exterior. O objetivo deste estudo passa por avaliar a qualidade do ar da cidade da Guarda com uma estação de monitorização de fundo. Os poluentes atmosféricos analisados neste estudo foram os poluentes químicos CO, O₃, SO₂, NO, NO_x e NO₂, as partículas (PM₁, PM_{2.5} e PM₁₀), os metais pesados (níquel, cádmio, chumbo e arsénio) presentes nas partículas e os pólenes. Tendo por base os valores-alvo legislados, a concentração média diária determinada neste estudo para os poluentes químicos analisados é, no geral, inferior aos limites legais. Existem apenas alguns picos de concentração para o O₃ e SO₂ que ultrapassam os valores legislados. Relativamente à análise de partículas verificou-se que as PM₁₀ são as que apresentam uma concentração mais elevada. No que diz respeito aos metais presentes nas partículas, o estudo mostra que o níquel é aquele que apresenta uma maior concentração. Em relação à análise de pólenes, o estudo demostrou que existe um comportamento semelhante com a previsão realizada pela Rede Portuguesa de Aerobiologia (RPA), com exceção da urtiga, azeda, tanchagem, eucalipto e quenopódio.

PALAVRAS-CHAVE

Qualidade do ar; poluição atmosférica; poluentes químicos, partículas, pólenes;

ABSTRACT

Air quality is heavily dependent on both type and concentration of atmospheric pollutants, which can, in high concentrations adversely affect ecosystems, buildings and above anything else human health. World Health Organization (WHO) has identified atmospheric pollution as responsible for the death of 7 million people in 2012 out of which 3.7 million are related to pollution of exterior air. The aim of this study is to evaluate Guarda's city quality of air with a background monitoring station. The atmospheric pollutants evaluated in this study were chemical pollutants CO, O₃, SO₂, NO, NO_X e NO₂, particles (PM₁, PM_{2.5} e PM₁₀), heavy metals (nickel, cadmium, lead and arsenic) found in particles and pollens. Taking into account target values stipulated by law, average daily concentration determined by this study for the analyzed chemical pollutants was, generally lower. There are only some peak concentrations for O₃ and SO₂ above legally acceptable. On what particles is concerned PM₁₀ show the highest concentration. On what heavy metals on particles is concerned, nickel has the highest concentration. For pollens the study showed there is a similar behaviour as the prediction made by Rede Portuguesa de Aerobiologia (RPA) except for nettle, sorrel, plantain, eucalypt and pigweed.

KEY-WORDS

Air quality; air pollution; chemical pollutants; particles; pollens.

SIGLÁRIO

AEA – Agência Europeia do Ambiente;

APA – Agência Portuguesa do Ambiente;

CALIOPE - El sistema de pronóstico de la CALIdad del aire Operacional Para España;

CAQi – Índice Comum de Qualidade do Ar;

IBM SPSS® - International Business Machines - Statistical Package for Social Sciences;

ICNF – Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas;

PROF – Plano Regional de Ordenamento Florestal.

ÍNDICE

1.	Intr	oduçã	ăo	1
2.	Qua	alidad	le do ar	5
	2.1.	Prin	cipais poluentes atmosféricos	5
	2.1.	1.	Poluentes Químicos	11
	2.1.	.2.	Poluentes Biológicos	18
	2.2.	Efei	itos da poluição atmosférica	21
	2.2.	1.	Efeitos nos materiais	21
	2.2.	.2.	Efeitos na vegetação	22
	2.2.	.3.	Efeitos na saúde humana	22
3.	Me	teorol	logia e poluição atmosférica	25
4.	Situ	ıação	geográfica e características geoclimáticas da região da Guarda	29
	4.1.	Situ	ação geográfica da região da Guarda	29
	4.1.	1.	Orografia da região da Guarda	30
	4.1.	.2.	Ocupação do solo da região da Guarda	31
	4.1.	.3.	Clima da cidade da Guarda	34
5.	Mo	delos	de Previsão	37
	5.1.	Prog	grama de modelação CALIOPE	37
6.	Ma	teriais	s e Métodos	43
	6.1.	Loc	al de Monitorização	43
	6.2.	Equ	ipamento utilizado	44
	6.3.	Met	odologia experimental	54
	6.3.	1.	Determinação de SO ₂ , NO _X , CO, e O ₃	54
	6.3.	.2.	Determinação de PM ₁₀ , PM _{2.5} , PM ₁	54
	6.3.	.3.	Determinação de metais pesados	55

_	5.3.4. Determinação de pólenes	56
7. <i>A</i>	Análise de Resultados	59
7.1.	Meteorologia observada	59
7.2.	Poluentes Químicos	62
7.3.	. Partículas	72
7.4.	. Metais pesados	76
7.5.	Pólenes	82
Concl	usão	93
Referé	ências Bibliográficas	95
Anexo	osErro! Marcador não	definido.
A.	Indicadores de tendência e dispersão para as variáveis meteorológicas Erro!	Marcador
não	definido.	
B.	Análise de Componentes Principais Erro! Marcador não	definido.
_		
C.	Indicadores de tendência e dispersão para os metais pesados Erro! Marcad	lor não
	Indicadores de tendência e dispersão para os metais pesados Erro! Marcadinido.	lor não
	• • •	
def D.	inido.	
def D.	inido. Correlações de Pearson entre os metais pesados e as partículas. Erro! Marca	ndor não
def D. def E.	inido. Correlações de Pearson entre os metais pesados e as partículas. Erro! Marca inido.	ndor não
def D. def E.	inido. Correlações de Pearson entre os metais pesados e as partículas. Erro! Marca inido. Correlações de Pearson entre os metais pesados e os poluentes químicos	ndor não Erro!
def D. def E. Ma	inido. Correlações de Pearson entre os metais pesados e as partículas. Erro! Marca inido. Correlações de Pearson entre os metais pesados e os poluentes químicos	ndor não Erro!

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição percentual da contribuição das fontes de emissão de SO ₂ , no Reino Unido em 2001 (OMS, 2006)
Figura 2 - Distribuição percentual da contribuição das fontes de emissão de NO _X , no Reino Unido em 2001 (OMS, 2006)
Figura 3 – Representação esquemática do papel desempenhado pelas espécies NO _X e COV na geração do ozono (Lisboa e Rodrigues, 2013).
Figura 4 – Esquema da localização da zona sexual feminina (estigma) e zona sexual masculina (anteras) da planta na polinização (Gonçalves e Lisboa, 2009)
Figura 5 – Classificação dos diferentes tipos de pólen de acordo com o número e disposição das aberturas (Frenguelli, 2003-A).
Figura 6 – Situação normal de dispersão dos poluentes atmosféricos (A); Situação de dispersão dos poluentes atmosféricos sob o efeito de inversão térmica (B) (APA, 2012)
Figura 7 – Representação esquemática de uma brisa marítima (A); Representação esquemática de uma brisa terrestre (B) (APA, 2012).
Figura 8 – Localização do distrito da Guarda e respetivos Concelhos
Figura 9 – Localização da cidade da Guarda na beira interior norte, segundo a divisão territoria NUTS III (Anuário estatístico da Região centro, 2011)
Figura 10 – Cartografia de altimetria da região da Guarda (A); Cartografia de declives da região da Guarda (B) (PROF-BIN, 2006)
Figura 11 - Distribuição percentual dos povoamentos florestais, na Beira Interior Norte, por espécie de árvores em 1995 (Adaptado de PROF-BIN, 2006)
Figura 12 - Tipo de uso da superfície agrícola utilizada (ha) (Anuário estatístico da região centro 2011).
Figura 13 – Calendário polínico da região centro (Rede Portuguesa de Aerobiologia, 2009) 33
Figura 14 – Temperatura do ar, normais climatológicas, da cidade da Guarda entre 1981 e 2010 (provisórias) (Instituto português do Mar e da Atmosfera, 2012)
Figura 15 – Precipitação, normais climatológicas, da cidade da Guarda entre 1981 e 2010 (provisórias) (Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2012)

Figura 16 – Localização das sondas dos equipamentos de monitorização de poluentes químicos no Campus do IPG (A) (IPG, 2013)
Figura 17 - Localização do Captador de Partículas e da Armadilha de Hirst no Campus do IPG (A) (IPG, 2013)
Figura 18 – Representação esquemática do funcionamento do equipamento CO12M (Adaptado de Environnement S.A., 2004-A)
Figura 19 – Representação esquemática do funcionamento do equipamento AC32M (Adaptado de Environnement S.A., 2004-B)
Figura 20 – Representação esquemática do funcionamento do equipamento AF22M (Adaptado de Environnement S.A., 2004-C)
Figura 21 – Esquema representativo do funcionamento do equipamento O ₃ 42M (Adaptado de Environnement S.A., 2004-D)
Figura 22 – Representação esquemática da sequência dos filtros colocados no equipamento de recolha de partículas (Adaptado de MLU, 2002).
Figura 23 – Esquema do funcionamento de um espetrofotómetro de absorção atómica com câmara de grafite (Adaptado de Chapple e Athanasopoulos, 1993)
Figura 24 – Esquema do funcionamento de um espetrofotómetro de absorção atómica com geração de hidretos (adaptado de GBC, 1995)
Figura 25 – Esquema da armadilha do tipo Hirst (A); Corte esquemático da unidade de impacto (B) (Adaptado de Soldevilla <i>et al.</i> , 2007).
Figura 26 – Esquema representativo das leituras efetuadas na lâmina
Figura 27 - Temperatura média mensal registada durante o período de monitorização 60
Figura 28 - Humidade Relativa média mensal registada durante o período de monitorização 61
Figura 29 - Humidade relativa média e Precipitação média registada no período de monitorização.
Figura 30 – Velocidade média e máxima mensal do vento ao longo no período de monitorização.
Figura 31 – Frequência da direção do vento no período de monitorização (valores diários) 62
Figura 32 – Concentração média horária para o SO ₂ (A) e para o O ₃ (B), no período de monitorização.

Figura 33 – Concentrações médias diárias para $SO_2(A)$, $O_3(B)$, $CO(C)$, NO , NO_x e $NO_2(D)$. 65
Figura 34 – Concentrações Dia-Noite de CO
Figura 35 – Poluentes químicos observados segundos os quadrantes de direção do vento 69
Figura 36 – Localização da estação de monitorização (A) e das Autoestradas A23 e A25 (Google Maps)
Figura 37 – Comparação entre as médias mensais observadas e previstas pelo programa de modelação CALIOPE
Figura 38 – Concentração de partículas (PM ₁₀ , PM _{2,5} e PM ₁) nas diferentes medições efetuadas.
Figura 39 - Dispersão conjunta que relaciona a concentração das diferentes partículas (SPSS v.20)
Figura 40 – Comparação das concentrações das partículas efetivamente observadas com os resultados das previsões do programa de modelação CALIOPE: A - PM _{2.5} ; B - PM ₁₀
Figura 41 – Concentração dos metais em ng/m³, chumbo (A), níquel (B), cádmio (C), arsénio (D), nas monitorizações efetuadas entre junho de 2013 e janeiro de 2014
Figura 42 - Dispersão conjunta que relaciona a concentração de chumbo (A), níquel (B), cádmio (C), arsénio (D) nas diferentes partículas (SPSS v.20)
Figura 43 – Variação da concentração de pólenes ao longo do período de monitorização (jan. 2013 a fev. 2014)
Figura 44 – Variação bi-horária da concentração de pólen no período de estudo (jan. 2013 a fev. 2014).
Figura 45 – Dispersão conjunta que relaciona o número de grãos de pólen/m³, a precipitação e a intensidade do vento (SPSS v.20)
Figura 46 – Número total de pólenes segundo os quadrantes de direção do vento (A); Concentração média de pólenes segundo os quadrantes de direção do vento (B)
Figura 47 – Concentração de pólenes por família, ao longo do período de monitorização 86
Figura 48 – Concentração de pólenes por família, ao longo do período de monitorização (continuação)
Figura 49 – Concentração de pólenes por família, ao longo do período de monitorização (continuação)

definido.
2011; *valor provisório (Anuário estatístico da Região Centro, 2011). Erro! Marcador não
Figura A1 - Consumo de gás natural na cidade da Guarda nos anos de 2006, 2007, 2009, 2010 de cidade da Guarda nos anos de 2006, 2007, 2009, 2010 de cidade da Guarda nos anos de 2006, 2007, 2009, 2010 de cidade da Guarda nos anos de 2006, 2007, 2009, 2010 de cidade da Guarda nos anos de 2006, 2007, 2009, 2010 de cidade da Guarda nos anos de 2006, 2007, 2009, 2010 de cidade da Guarda nos anos de 2006, 2007, 2009, 2010 de cidade da Guarda nos anos de 2006, 2007, 2009, 2010 de cidade da Guarda nos anos de 2006, 2007, 2009, 2010 de cidade da Guarda nos anos de 2006, 2007, 2009, 2010 de cidade da Guarda nos anos de 2006, 2007, 2009, 2010 de cidade da Guarda nos anos de 2006, 2007, 2009, 2010 de cidade da Guarda nos anos de 2006, 2007, 2009, 2010 de cidade da Guarda nos anos de 2006, 2007, 2009, 2010 de cidade da Guarda nos anos de 2006, 2007, 2009, 2010 de cidade da Guarda nos anos de 2006, 2007, 2009, 2010 de cidade da Guarda nos anos de 2006, 2007, 2009, 2010 de cidade da Guarda nos anos de 2006, 2007, 2009, 2010 de cidade da Guarda nos anos de 2006, 2007, 2009,
Polínico para a Região Centro da RPA
Figura 51 - Comparação entre o Calendário Polínico da Região da Guarda e do Calendário
Figura 50 – Calendário Polínico para a Região da Guarda.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Valores limite de exposição, para a proteção da saúde humana, para o SO ₂ , NO ₂ , PM ₁₀ , CO, C ₆ H ₆ , pb e PM _{2,5} (Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro)
Tabela 2 - Limiar de informação e limiar de alerta para o ozono, segundo o Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro
Tabela 3 – Valor-alvo para o ozono, arsénio, cádmio, níquel e benzo(a)pireno, segundo o Decreto- Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro
Tabela 4 – Valores de Referência para as PM _{2.5} , PM ₁₀ , O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , segundo a OMS (OMS, 2011)
Tabela 5 – Índice Comum de Qualidade do Ar – Horário e Diário (Adaptado de Air Quality in Europe, 2013).
Tabela 6 – Valores para o cálculo do índice comum de Qualidade do Ar - Anual (Adaptado de Air Quality in Europe, 2013)
Tabela 7 – Cálculos necessários para o índice anual (Adaptado de Air Quality in Europe, 2013).
Tabela 8 – Índices Polínicos (Adaptado: Rede Portuguesa de Aerobiologia, 2012)
Tabela 10 – Especificações gerais do equipamento de Hirst
Tabela 11 - Indicadores de tendência e dispersão para os poluentes químicos (SPSS v. 20) 63
Tabela 12 - Correlações de Pearson entre a concentração de poluentes químicos e as variáveis meteorológicas (SPSS v.20)

Tabela 13 - Correlações de Pearson entre a concentração de poluentes químicos e os valores
previstos pelo programa de modelação caliope (SPSS v.20)
Tabela 14 – Valores das concentrações de partículas em μg/m³, nas monitorizações efetuadas entre junho de 2013 e janeiro de 2014
Tabela 15 - Indicadores de tendência e dispersão para partículas PM ₁ , PM _{2.5} e PM ₁₀ (SPSS v. 20).
72
Tabela 16 - Correlações de Pearson entre a concentração das diferentes partículas e dos poluentes químicos (SPSS v.20)
Tabela 17 - Correlações de Pearson entre a concentração das diferentes partículas e as variáveis meteorológicas (SPSS v.20)
Tabela 18 – Concentrações dos metais pesados medidos em ng/m³, nas monitorizações efetuadas entre junho de 2013 e janeiro de 2014
Tabela 19 – Correlações de Pearson entre as concentrações de metais pesados e as variáveis meteorológicas (SPSS v.20)
Tabela 20 - Correlações de Pearson entre as concentrações de metais pesados e as variáveis meteorológicas (SPSS v.20) (continuação).
Tabela 21 – Concentração de pólen e percentagem das diferentes famílias por ordem decrescente.
Tabela 22 – Correlações de Pearson entre a concentração de pólenes e as variáveis meteorológicas (SPSS v.20)
Tabela 23 - Correlação de Pearson entre a concentração de pólenes e a direção do vento (SPSS v.20)
Tabela 24 – Correlações de Pearson entre a concentração de pólenes e de poluentes químicos. 90
Tabela A1 - Indicadores de tendência e dispersão para as variáveis meteorológicas (SPSS v. 20)
Erro! Marcador não definido.
Tabela A2 - Outpus's Análise de Componentes Principais (SPSS v.20). Erro! Marcador não definido.
Tabela A3 - Indicadores de tendência e dispersão para o chumbo nas partículas PM ₁ , PM _{2.5} e PM ₁₀ (SPSS v. 20) Erro! Marcador não definido.

Tabela A4 - Indicadores de tendência e dispersão para o níquel nas	s partículas PM ₁ , PM _{2.5} e PM ₁₀
(SPSS v. 20) E	rro! Marcador não definido.
Tabela A5 - Indicadores de tendência e dispersão para o cádmio na (SPSS v. 20).	_
Tabela A6 - Indicadores de tendência e dispersão para o arsénio na (SPSS v. 20).	_
Tabela A7 - Correlações de Pearson entre a concentração de metai PM _{2.5} e PM ₁ (SPSS v.20) E	· •
Tabela A8 - Correlações de Pearson entre a concentração de metai PM _{2.5} e PM ₁ (SPSS v.20) (Continuação) E	
Tabela A9 - Correlações de Pearson entre a concentração de n químicos (SPSS v.20) E	· ·
Tabela A10 - Principais incêndios florestais ocorridos em 2013 no ce e Viegas <i>et al.</i> , 2013)	
Tabela A11 - Consumo de combustível, em toneladas, no ano c (Anuário estatístico da Região Centro, 2011)	

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da sociedade e consequente melhoria do nível de vida passa, em geral, pela utilização dos recursos naturais do planeta. Para garantirmos que as gerações futuras possam usufruir de um nível de vida igual ou superior ao atual, é essencial que os recursos naturais possam ser usados de forma mais eficiente. Para que tal possa ocorrer é necessário que o desenvolvimento da sociedade seja mais equilibrado e sustentável. Todos sabemos que o equilíbrio entre o desenvolvimento e a conservação do planeta é um dos maiores desafios que a sociedade enfrenta atualmente, mas também todos sabemos que essa é a única forma de garantir uma melhor qualidade de vida para as gerações futuras.

A melhoria da qualidade de vida das populações foi possível, principalmente, devido aos progressos obtidos pela ciência e pela tecnologia, os quais foram aplicados nas mais diversas atividades, como a indústria e agricultura, o qual tem contribuído de forma muito significativa para as alterações do meio ambiente.

Uma das componentes ambientais mais afetada pelo desenvolvimento da sociedade humana moderna é a qualidade do ar, a qual é um requisito básico de saúde e bem-estar do ser humano e do equilíbrio dos ecossistemas.

A poluição atmosférica é uma componente muito relevante na avaliação da qualidade geral do ambiente, uma vez que esta afeta negativamente os ecossistemas, nomeadamente a fauna e a flora, a saúde pública e também o património edificado. Em Portugal no ano de 2008 foram atribuídas entre 21 a 40 mortes por cada 100.000 habitantes (OMS, 2011). Estimativas da Organização Mundial de Saúde (OMS) apontam para que em 2012, sete milhões de pessoas morreram devido à poluição atmosférica, dos quais 4,3 milhões devido à poluição no interior nos edifícios e 3,7 milhões devido à poluição do ar exterior. A poluição atmosférica é agora o maior risco individual para a saúde humana (OMS, 2014).

A presença de poluentes atmosféricos é variável, tanto sob o ponto de vista temporal (verão/inverno) como espacial (transporte de poluentes). Assim, cada região ou núcleo urbano apresenta características específicas quer no tipo quer na concentração destes poluentes, os quais variam ao longo do ano. Esta variabilidade torna evidente a necessidade de estudar os poluentes atmosféricos numa perspetiva regional (Rica, 2003).

Segundo a Comissão Europeia (CE) nas cidades e regiões mais contaminadas, a poluição atmosférica é responsável pela redução da esperança média de vida em cerca de dois anos (CE,

2012). Os problemas de saúde, frequentemente associados à população que se encontra sob influência de fenómenos de poluição atmosférica estão centrados em patologias do foro cardiorrespiratório e alergológico. O aumento do número de indivíduos da população mundial com manifestações alérgicas é de tal magnitude que esta doença é já considerada um problema de saúde pública (Couto e Morais de Almeida, 2011). A quantificação das concentrações de poluentes atmosféricos no ar urbano é um requisito fundamental não apenas para a vigilância da qualidade de vida mas também para avaliar os seus efeitos na saúde humana.

Na cidade da Guarda não existe nenhuma estação de monitorização de poluentes químicos (CO, NO₂, SO₂, O₃ e PM₁₀) e a estação de monitorização mais próxima, em que podem ser consultados os dados no endereço eletrónico da Agência Portuguesa do Ambiente, é no Fundão. Já para os poluentes biológicos, a estação de monitorização mais próxima, segundo a Rede Portuguesa de Aerobiologia, é Coimbra. A medição deste tipo de poluentes nesta região do país, a realizar neste estudo, será uma mais-valia não apenas para o conhecimento da qualidade do ar da Cidade da Guarda mas também na perspetiva de desenvolvimento de um plano local de criação de uma cidade bioclimática. Este plano requer um conhecimento profundo da qualidade do ar da cidade bem como de todas as condicionantes que lhe estão associadas.

Os programas de simulação e previsão da concentração de poluentes têm contribuído para o conhecimento de curto e médio prazo das concentrações de determinados poluentes, permitindo deste modo um melhor planeamento, por parte das instituições competentes, assim como da emissão de avisos e alertas para a população de risco.

Na realização deste trabalho de avaliação da qualidade química e biológica do ar da Guarda, a monitorização teve a duração de cerca de um ano. A recolha de pólenes ocorreu desde o dia 28 de janeiro de 2013 até ao dia 3 de fevereiro de 2014. Já a medição de poluentes químicos ocorreu desde o dia 11 de fevereiro de 2013 até ao dia 19 de dezembro de 2014.

O objetivo geral deste projeto consiste na monitorização e análise das concentrações dos principais poluentes atmosféricos. Como objetivos específicos podemos referir:

- 1. Determinação da concentração do monóxido de carbono, óxidos de azoto, dióxido de enxofre, e ozono;
- 2. Monitorizar a relação entre a variação da concentração de poluentes químicos atmosféricos e a concentração de pólenes;
- 3. Determinar a concentração de metais pesados (chumbo, cádmio, níquel e arsénio) nas partículas (PM₁₀, PM_{2.5} e PM₁);

- 4. Comparação dos resultados obtidos analiticamente com os resultados fornecidos pelo sistema de modelação CALIOPE;
- 5. Sensibilizar a população para os problemas de saúde associados à exposição aos poluentes atmosféricos.

Este projeto está estruturado em 7 capítulos. No capítulo 2 é definido o conceito de qualidade do ar e identificados os limites legais dos agentes poluentes. São descritos os principais poluentes atmosféricos e os seus efeitos tanto nos materiais, como na vegetação e na saúde humana. No capítulo 3 são identificados os efeitos dos fenómenos meteorológicos na concentração dos poluentes atmosféricos. No capítulo 4 são abordadas as características geoclimáticas da Guarda. No capítulo 5 são identificados alguns modelos de previsão, em especial o programa de modelação CALIOPE. No capítulo 6 são referidos os métodos usados no estudo, para além da descrição dos equipamentos utilizados são referidas as metodologias a eles associadas. No capítulo 7 e é efetuada a análise dos dados obtidos através da monitorização, recorrendo ao software de tratamento estatístico IBM SPSS®. Por fim são efetuadas algumas conclusões, indicadas as referências bibliográficas e apresentados os anexos que foram sendo mencionados ao longo do documento escrito.

Inês Catarina Pinheiro Dos Santos Lisboa	
inds Chinical III I walke 2 of the 1000 Elabori	

2. QUALIDADE DO AR

A poluição atmosférica pode ser definida como uma alteração da composição química natural da atmosfera, que resulta das diversas atividades humanas, como, por exemplo, a atividade industrial, ou os transportes (rodoviários, ferroviários, entre outros), bem como de fenómenos naturais, tais como as erupções vulcânicas e os incêndios florestais. Da poluição atmosférica resultam efeitos de macro escala, tais como: o aquecimento global/alterações climáticas, deterioração da camada de ozono na alta atmosfera e também uma degradação mais localizada do ar que respiramos.

O nível de alteração da camada inferior da atmosfera (troposfera) é o que se pretende traduzir com o conceito Qualidade do Ar. Essa alteração repercute-se negativamente na saúde pública e no bem-estar das populações, exercendo também uma influência nefasta na fauna, flora e até no património edificado.

Os poluentes podem ter maior ou menor impacte na qualidade do ar, consoante a sua composição química, concentração na massa de ar e condições meteorológicas. Assim, por exemplo, a existência de ventos fortes ou chuvas poderão dispersar os poluentes, ao passo que a presença de luz solar poderá acentuar os seus efeitos negativos (APA, 2012).

Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), os poluentes atmosféricos que fazem parte do cálculo do índice de qualidade do ar são os mais comuns, especialmente nas áreas urbanas e industriais. Assim os poluentes englobados no índice de qualidade do ar são: Monóxido de carbono (CO); Dióxido de azoto (NO₂); Dióxido de enxofre (SO₂); Ozono (O₃); Partículas finas ou inaláveis (medidas como PM₁₀).

2.1. Principais poluentes atmosféricos

A origem dos poluentes é diversa, desde logo pelo modo como são produzidos alguns dos contaminantes presentes na atmosfera. Assim, é possível distinguir dois tipos de poluentes, os poluentes primários e secundários. Os primeiros são emitidos diretamente pelas fontes de origem para a atmosfera. Por exemplo, os gases emitidos pelos veículos automóveis ou pela chaminé de uma fábrica, como o CO, NO, NO₂, SO₂, PM₁₀ e PM_{2,5}. Os segundos, são os que resultam das reações químicas de alguns poluentes primários na atmosfera, nomeadamente o ozono troposférico (O₃) e os Compostos Orgânicos Voláteis (COV) (Lisboa e Rodrigues, 2013; APA, 2012).

Num ambiente tipicamente urbano, a população está exposta a cerca de 200 poluentes ou classes de poluentes atmosféricos (Sicard *et al.*, 2011). Os mais comuns, especialmente nas áreas urbanas e industriais são o CO, NO₂, SO₂, O₃, partículas finas medidas como PM₁₀, pólenes e fungos, os quais se encontram regulamentados em legislação europeia e consequentemente legislação nacional.

O Decreto-Lei n.º 102/2010 de 23 de setembro, transpõe para a legislação nacional a Diretiva 2008/50/CE de 21 de Maio, no âmbito do qual se pretende proteger a saúde humana, combater as emissões poluentes na origem, identificar e implementar as medidas mais eficazes de redução de emissões, e fixa os objetivos para a qualidade do ar ambiente (Tabela 1) de acordo com as orientações da Organização Mundial de Saúde (Lisboa e Rodrigues, 2013).

O mesmo diploma legal, considera na avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente os seguintes poluentes atmosféricos: Dióxido de enxofre, Dióxido de azoto, Óxidos de azoto, Partículas em Suspensão (PM₁₀ e PM_{2,5}), Chumbo, Benzeno, Monóxido de Carbono, Ozono, Arsénio, Cádmio, Níquel, Benzo(a)pireno e mercúrio.

Tabela 1 – Valores limite de exposição, para a proteção da saúde humana, para o SO_2 , NO_2 , PM_{10} , CO, C_6H_6 , pb e $PM_{2.5}$ (Decreto-Lei N.º 102/2010, de 23 de setembro).

Poluente Período de referência		Valor Limite	Margem de Tolerância	
60	1 hora	$350 \mu g/m^3$	$150 \mu\mathrm{g/m^3}$	
SO ₂	1 dia	125 μg/m ³	Nenhuma	
NO	1 hora	200 μg/m ³	Nenhuma	
NO ₂	1 ano	40 μg/m ³	Nenhuma	
DM	1 dia	50 μg/m ³	50%	
PM ₁₀	1 ano	40 μg/m ³	20%	
СО	Máximo horário da média das 8 horas	10 mg/m ³	60%	
C ₆ H ₆	1 ano	5 μg/m ³	Nenhuma	
Pb	1 ano	$0.5 \mu g/m^3$	100%	
PM _{2,5}	1 ano	25 μg/m ³	20%(1)	

⁽¹) – até 11 de junho de 2008, a reduzir no dia 1 de janeiro seguinte em cada período de 12 meses subsequentes numa percentagem anual idêntica, até atingir 0% em 1 de janeiro de 2015

Na legislação portuguesa estão definidos os limiares de informação e os limares de alerta. O limiar de informação é desencadeado quando são atingidas concentrações acima das quais uma exposição a SO₂, NO_X ou O₃, de curta duração, apresenta riscos de saúde para grupos sensíveis da população. O limiar de alerta, para o qual é necessária uma divulgação imediata à população e adotadas medidas urgentes, é acionado quando as concentrações dos poluentes atingem um nível que apresenta risco para a saúde mesmo para uma exposição de curta duração (Tabela 2).

TABELA 2 - LIMIAR DE INFORMAÇÃO E LIMIAR DE ALERTA PARA O OZONO, SEGUNDO O DECRETO-LEI N.º 102/2010, DE 23 DE SETEMBRO.

Poluente	Limiar de informação	Limiar de alerta	Observações
SO ₂	-	$500 \mu g/m^3$	-
NO ₂	-	$400 \mu g/m^3$	-
O ₃	180 μg/m ³	240 μg/m ³	Período de referência de 1 hora

Estão ainda estabelecidos relativamente ao ozono, arsénio, cádmio, mercúrio, níquel e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos do ar ambiente o valor alvo para as suas concentrações (Tabela 3). O valor-alvo é fixado com o intuito de evitar, prevenir ou reduzir os seus efeitos nocivos na saúde humana e no ambiente na sua globalidade, a ser alcançado, na medida do possível, durante um dado período de tempo.

Tabela 3 – Valor-alvo para o ozono, arsénio, cádmio, níquel e benzo(a)pireno, segundo o Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro.

Poluente	Período de Referência	Valor alvo
O_3	Valor máximo diário das médias octo-horárias, calculadas por períodos consecutivos de 8 horas.	120 μg/m³, a não exceder mais de 25 dias, em média, por ano civil, num período de três anos
As	-	6 ng/m ^{3 (1)}
Cd	-	5 ng/m ^{3 (1)}
Ni	-	20 ng/m ^{3 (1)}
Pb	-	0,5 μg/m ^{3 (1) (2)}
C2OH12	-	1 ng/m ^{3 (1)}

⁽¹⁾ Para o teor total na fração PM_{10} calculada com média durante um ano civil

A Organização Mundial de Saúde recomenda também valores de referência para a concentração de alguns poluentes atmosféricos (Tabela 4), os quais não são necessariamente coincidentes com a legislação nacional e europeia.

⁽²⁾ DEFRA – Department for Environment food and rural affairs (http://pollutantdeposition.defra.gov.uk/heavy_metals) – 03/06/2014

TABELA 4 – VALORES DE REFERÊNCIA PARA AS PM_{2.5}, PM₁₀, O₃, NO₂, SO₂, SEGUNDO A OMS (OMS, 2011).

Poluente	Período de Referência	Valores de Referência		
D2 5	Média anual	$10\mu\text{g/m}^3$		
PM _{2.5}	Média diária	25 μg/m³		
	Média anual	20 μg/m ³		
PM_{10}	Média diária	50 μg/m ³		
O ₃	Média das 8 horas	$100 \mu g/m^3$		
220	Média anual	$40\mu\mathrm{g/m^3}$		
NO ₂	Média horária	$200\mu\mathrm{g/m^3}$		
	Média diária	20 μg/m³		
SO_2	Média de 10 min.	$500 \mu g/m^3$		

Segundo o relatório do estado da qualidade do ar em 2009 do European Topic Centre on Air Pollution and Climate Change Mitigation (ETC/ACM), que analisou os dados de diversos países europeus, os valores limite e valores alvo, têm sido na maior parte dos casos excedidos. O valorlimite anual de NO₂ acrescido da margem de tolerância foi excedido em 41% das estações de monitorização de tráfego consideradas no estudo. No entanto, aspeto positivo referenciado neste relatório é o facto de que entre o ano de 1999 e 2009 as concentrações de NO_X terem diminuído cerca de 81%, em 44% das estações de monitorização de fundo. Relativamente às concentrações de SO₂, o valore-limite horário e diário foi ultrapassado entre 1 a 2 % das estações de monitorização. Contudo, tal como verificado para o NO_X, também a sua concentração diminuiu durante a mesma década. No que diz respeito às PM₁₀, tanto os valores limite diários como os anuais foram excedidos em 28% das estações de monitorização consideradas, enquanto que para as PM_{2.5} os valores foram excedidos em 10% dos casos. Também a concentração destes dois poluentes tem vindo a diminuir ao longo dos anos, notando-se apenas um pequeno aumento em 2009. O valor limite para o CO é ultrapassado em 0,5% das estações de monitorização, localizadas na Bulgária e na Bósnia e Herzegovina. As concentrações de O3 são superiores nos países mediterrânicos e nas estações de monitorização de montanha. O valor alvo é ultrapassado em cerca de 22% das estações de monitorização. Relativamente à monitorização de metais e compostos orgânicos no ar atmosférico, verificou-se que a concentração de arsénio, cádmio, níquel e benzo(a)pireno estão abaixo do valor-alvo estipulado.

Para além dos valores estabelecidos na legislação, os índices de qualidade do ar permitem também uma análise comparativa da qualidade do ar entre cidades, ou na mesma cidade em épocas distintas.

Na análise da qualidade do ar são normalmente considerados 3 tipos de índices. O índice horário que descreve a qualidade do ar no momento e é atualizado de hora a hora. O índice diário que representa a situação geral da qualidade do ar do dia anterior e é atualizado diariamente. O índice anual que representa as condições gerais da qualidade do ar ao longo do ano, e é baseado na média anual dos poluentes e comparado com os valores-limite estabelecidos (Air Quality in Europe, 2013).

O CAQi (Índice Comum de Qualidade do Ar), criado pela *Air Quality in Europe*, tem como principal objetivo a comparação da qualidade do ar nas diferentes cidades da Europa, não tendo qualquer associação com os efeitos da poluição atmosférica na saúde humana. (Air Quality in Europe, 2013).

CAQI - HORÁRIO E DIÁRIO

Este índice tem cinco níveis numa escala de 0 (muito baixo) a >100 (muito alto). É baseado em seis poluentes, PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, O₃, CO e SO₂ (Tabela 5).

TABELA 5 – ÍNDICE COMUM DE QUALIDADE DO AR – HORÁRIO E DIÁRIO (ADAPTADO DE AIR QUALITY IN EUROPE, 2013).

		Índice de Fundo							
Índice das classes	Classes	Poluentes Obrigatórios				Poluentes auxiliares			
		NO ₂ (μg/m ³)	PM ₁₀ (μg/m ³)		O ₃	PM _{2.5} (μg/m ³)		СО	SO ₂
			1 hora	24 horas	μg/m ³	1 hora	24 horas	(μg/m ³)	$(\mu g/m^3)$
Muito alto	>100	>400	>180	>100	>240	>110	>60	>20000	>500
	100	400	180	100	240	110	60	20000	500
Alto	75	200	90	50	180	55	30	10000	350
	75	200	90	50	180	55	30	10000	350
Médio	50	100	50	30	120	30	20	7500	100
Baixo	50	100	50	30	120	30	20	7500	100
	25	50	25	15	60	15	10	5000	50
Muito baixo	25	50	25	15	60	15	10	5000	50
	0	0	0	0	0	0	0	0	0

 NO_2 , O_3 , SO_2 – valor máximo horário; PM_{10} , $PM_{2.5}$ – valor máximo horário ou valor médio diário ajustado; CO – valor médio móvel de 8 horas.

CAQI - ANUAL

Este índice é calculado de forma diferente dos índices horários e diários referidos anteriormente. Tem um valor-alvo associado a um índice (Tabela 6):

- Se o índice for superior a 1 para um ou mais poluentes, os valores-limite não são cumpridos.
- Se o índice for inferior a 1, os valores-limite são, em média, cumpridos.

TABELA 6 – VALORES PARA O CÁLCULO DO ÍNDICE COMUM DE QUALIDADE DO AR - ANUAL (ADAPTADO DE AIR QUALITY IN EUROPE, 2013).

	NO ₂	Média anual PM ₁₀	Excedências da média diária de PM10	O ₃ ⁽¹⁾	SO ₂
Valor-alvo (µg/m³)	40	40	31	25	20
Índice	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

 $(^1)$ – Média das 8 horas > 120 µg/m³

Para calcular este índice é necessário efetuar alguns cálculos, para cada poluente, descritos na Tabela 7. O valor pelo qual se divide a média anual está diretamente relacionado com o valor-limite legislado de cada poluente.

TABELA 7 – CÁLCULOS NECESSÁRIOS PARA O ÍNDICE ANUAL (ADAPTADO DE AIR QUALITY IN EUROPE, 2013).

Poluente	Valor-limite	Cálculo		
NO ₂	Média anual = $40 \mu g/m^3$	Média anual / 40		
PM ₁₀	Média anual = $40 \mu g/m^3$	Média anual / 40		
PM ₁₀ diário	Número máximo de dias com média acima de 50 μg/m ³ = 35 dias	log (número de dias +1) / log (36)		
O ₃	25 dias com valor médio de 8 horas = 120 μg/m ³	Média das 8 horas \geq 120 / 25		
PM _{2.5}	Média anual = $20 \mu g/m^3$	Média anual / 20		
SO_2	Média anual = $20 \mu g/m^3$	Média anual / 20		
СО	-	Não é calculado		

ÍNDICE POLÍNICO

Para além dos poluentes químicos, também os poluentes biológicos segundo a RPA se podem dividir em índices que qualificam segundo a quantidade de pólenes e o risco de reações alérgicas. O índice vai de 0 (baixo) a > 60 (muito elevado) (Tabela 8).

Índice	Grãos de Pólenes/m³
Muito Elevado	>60
Elevado	30-60
Moderado	1-30
Baixo	0

TABELA 8 – ÍNDICES POLÍNICOS (ADAPTADO: REDE PORTUGUESA DE AEROBIOLOGIA, 2012).

2.1.1. POLUENTES QUÍMICOS

COMPOSTOS DE ENXOFRE

Os compostos de enxofre são dos poluentes mais comuns na atmosfera, incluindo o dióxido do enxofre (SO₂) o trióxido de enxofre (SO₃), o ácido sulfúrico (H₂SO₄) e o ácido sulfuroso (H₂SO₃). São produzidos pela queima de combustíveis fósseis, em particular na combustão em centrais térmicas e também na indústria, nomeadamente a química e a de pastas de papel. O SO₂ é um gás incolor, não inflamável, e inodoro (em baixas concentrações). É de salientar que por vezes a sua baixa concentração na atmosfera não significa que este poluente não seja emitido, o que pode ocorrer é a sua conversão em sais como sulfatos ou ácidos de acordo com o mecanismo referidos na reação química (1) e subsequentes (Gomes, 2001).

$$SO_2 + \frac{1}{2}O_2 \to SO_3$$
 (1)

Alguns óxidos metálicos oxidam o SO₂ diretamente a sulfato, como é o caso do óxido de magnésio:

$$4 MgO + 4SO_2 \rightarrow 3 MgSO_4 + MgS \tag{2}$$

Os óxidos de enxofre na presença de água reagem de forma a gerar ácidos, como se demonstra pelas reações (3) e (4).

$$SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_3 \tag{3}$$

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$
 (4)

A formação destes ácidos vai provocar a acidificação dos solos e das águas devido à sua deposição por via húmida (chuvas ácidas) e também pela deposição por via seca.

No Reino Unido, em 2001, as principais fontes antropogénicas responsáveis pela emissão de SO₂, estão identificadas na Figura 1 (OMS, 2006).

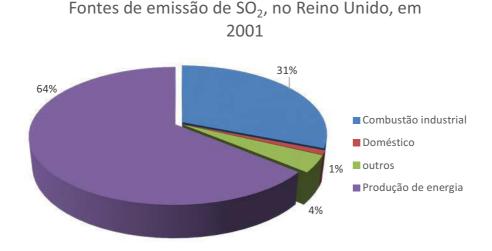


FIGURA 1 - DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DA CONTRIBUIÇÃO DAS FONTES DE EMISSÃO DE SO₂, NO REINO UNIDO, EM 2001 (OMS, 2006).

Sob o ponto de vista clínico, o dióxido de enxofre, em concentrações elevadas, causa alterações nas mucosas do nariz, da boca e pulmões provocando problemas respiratórios em doentes com asma e com problemas cardiovasculares. Aumenta a permeabilidade da membrana mucosa das vias aéreas, favorecendo a penetração de alergénios e o desenvolvimento de reações alérgicas. Os pacientes que sofrem de bronquite crónica têm mostrado um agravamento da sintomatologia, especialmente no que se refere ao aparelho respiratório, quando as concentrações de SO₂ excedem os 0,095 ppm (Davis e Cornwell, 1991; APA, 2012).

ÓXIDOS DE AZOTO

Os óxidos de azoto são poluentes emitidos a partir de equipamentos de combustão (a temperaturas relativamente elevadas), nomeadamente nos processos industriais e no tráfego automóvel. São compostos essencialmente por monóxido de azoto (NO), dióxido de azoto (NO₂) e trióxido de azoto (NO₃). Estas três espécies químicas são geralmente agrupadas e expressas sob a designação de "NO_x". Nos gases provenientes da combustão de combustíveis fosseis o NO predomina sobre o NO₂. Após a emissão para a atmosfera, e sob influência da radiação solar, ocorre a oxidação do NO a NO₂. Os NO_x apresentam, quando em concentração elevada, uma tonalidade castanho-avermelhada e uma tonalidade amarelada em concentrações mais baixas.

O NO₂ é a principal fonte de aerossóis de nitrato, que formam uma parte importante das partículas PM_{2,5} que, na presença de luz ultravioleta, são responsáveis pela produção de ozono (OMS, 2011).

No Figura 2, podemos visualizar as principais fontes antropogénicas de NO_X no Reino Unido, em 2001 (OMS, 2006).

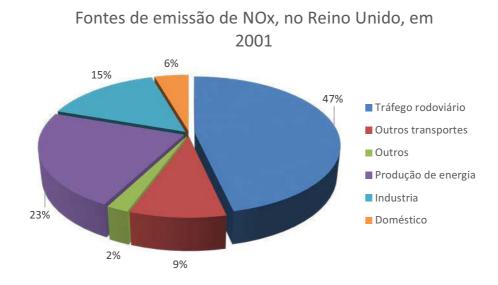


FIGURA 2 - DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DA CONTRIBUIÇÃO DAS FONTES DE EMISSÃO DE NO_X, NO REINO UNIDO, EM 2001 (OMS, 2006).

Estes compostos causam infeções pulmonares, problemas respiratórios, diminuem as defesas imunitárias do organismo. A exposição a concentrações de NO₂ acima de 5 ppm, durante 15 minutos, provoca tosse e irritação do trato respiratório. A exposição continuada pode produzir uma acumulação anormal de fluido no pulmão (edema pulmonar). Aumentos ligeiros da doença respiratória e diminuição da função pulmonar foram associados a concentrações de cerca de 0,10 ppm. A concentração de NO₂ média no fumo do tabaco é de aproximadamente 5 ppm (Davis e Cornwell, 1991). Condicionam também o crescimento das plantas e causam graves danos em monumentos e edifícios.

Em 2010, 7% dos europeus que viviam em zonas urbanas foram expostos a níveis de NO₂ superiores ao valor-limite da UE (Relatório AEA, 2012).

OZONO

O ozono (O₃) é um gás incolor, cujas moléculas são formadas por três átomos de oxigénio. É um gás que se encontra em diversas partes da atmosfera. Na estratosfera é um gás essencial que ajuda a proteger a terra dos danos provocados pelos raios ultravioleta, por sua vez na troposfera, a sua presença prejudica tanto a saúde humana como o meio ambiente.

A maioria do ozono existente na troposfera é formado pela interação de substâncias percursoras do ozono emitidas para a atmosfera pelo Homem (transportes rodoviários e processos industriais)

e pela Natureza (emissões das plantas e dos solos), como o metano, o monóxido de carbono e, principalmente, os óxidos de azoto (NO_X) e os compostos orgânicos voláteis (COV's). O ozono forma-se através da reação de um átomo de oxigénio no seu estado fundamental (O(3P)), resultante da fotólise do NO₂, com uma molécula de oxigénio, na presença de uma molécula inerte capaz de estabilizar os produtos de reação absorbendo o excesso de energia vibracional (M) conforme reações químicas 5 e 6. A molécula de NO resultante da fotólise do NO₂ reage rapidamente com o O₃, regenerando o NO₂ (reação química 7). A produção efetiva de ozono ocorre quando os radicais peróxilo RO_2 estão presentes e convertem o NO em NO₂ sem consumo de O₃ (reações químicas 8 a 10). A fotólise do ozono, seguida da reação com H₂O constitui não só um consumo de ozono imediato, como também um meio de produção de radicais OH. Em atmosferas com baixas concentrações de NO_X, estes radicais desempenham um papel fundamental no ciclo oxidativo do CO e do CH₄, com consumo efetivo de ozono (reações químicas 11 e 12) (Silva, 2008). A Figura 3, ilustra de forma resumida todas as reações químicas acima descritas.

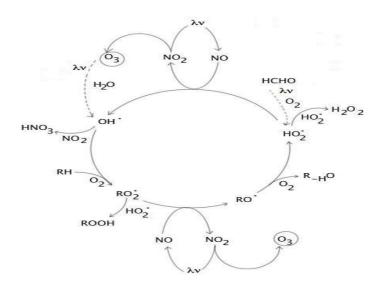


FIGURA 3 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO PAPEL DESEMPENHADO PELAS ESPÉCIES NO_X E COV NA GERAÇÃO DO OZONO (LISBOA E RODRIGUES, 2013).

$$NO_2 + hv \rightarrow NO + O(3P) \tag{5}$$

$$O(3P) + O_2(+M) \to O_3(+M)$$
 (6)

$$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$$
 (7)

$$RH + OH^{\cdot}(+M) \xrightarrow{O_2} RO_2^{\cdot} + H_2O(+M)$$
 (8)

$$RO_2' + NO \rightarrow RO + HO_2' + NO_2 \tag{9}$$

$$HO_2' + NO \rightarrow OH' + NO_2 \tag{10}$$

$$O_3 + hv \rightarrow O_2 + O(1D)$$
 (11)

$$O(1D) + H_2O \to 2OH$$
 (12)

O ozono pode irritar o trato respiratório, já que o oxida, podendo provocar dificuldades respiratórias (por exemplo impossibilidade de respirar mais profundamente, inflamações brônquicas ou tosse). É o principal constituinte do smog fotoquímico, o qual é frequentemente associado a diversos sintomas particularmente em grupos sensíveis como crianças, doentes cardiovasculares e/ou do foro respiratório e idosos (APA, 2012).

Em 2010, 97% dos habitantes das cidades da UE foram expostos a concentrações de O₃ superiores ao nível de referência da OMS e 17% dos cidadãos foram expostos a concentrações superiores ao valor-alvo da UE (Relatório AEA, 2012). Por cada 10 mg/m³ de aumento da concentração de O₃ a mortalidade diária sobre 0,3% e as doenças respiratórias aumentam 0,4% (OMS, 2011).

MONÓXIDO DE CARBONO

A produção de monóxido de carbono resulta da incompleta oxidação do carbono, principalmente em indústrias e no tráfego automóvel. É um gás incolor e inodoro, letal para o ser humano em concentrações superiores a 5000 ppm. O CO reage com a hemoglobina e forma a carboxihemoglobina (COHb). A hemoglobina tem uma maior afinidade com o CO do que com o O₂, assim, a formação de COHb priva as células do oxigénio necessário ao processo bioquímico da fosforilação oxidativa. Níveis de 5 a 10% de COHb limitam a perceção visual, a destreza manual e capacidade de aprender é prejudicada (Davis e Cornwell, 1991). A presença de CO afeta principalmente o sistema cardiovascular e o sistema nervoso. Concentrações mais baixas são suscetíveis de gerar problemas cardiovasculares em doentes coronários (como, por exemplo, a angina de peito), no entanto concentrações elevadas são suscetíveis de criar tonturas, dores de cabeça e fadiga (APA, 2012).

As populações mais vulneráveis são pessoas com doenças cardíacas e circulatórias, doenças pulmonares crónicas e fetos em desenvolvimento.

PARTÍCULAS

As partículas constituem um grupo extenso de poluentes atmosféricos que são provenientes de fontes como circulação automóvel, fábricas de cimento, fábricas de celulose, fundições de ferro, processamento de rochas, tratamento de carvão, produção de asfaltos, produção de minerais, processamento de cereais, entre outros. Os vulcões são considerados a maior fonte natural de

emissão de partículas, seguidos dos oceanos que libertam aerossóis de gotas de água e sais diversos (Gomes, 2001).

Uma partícula é normalmente definida como uma pequena porção de matéria sólida ou líquida cujos agregados individuais sejam maiores do que pequenas moléculas (com um diâmetro de 0,0002 mm, mas menores do que 50 mm). Assim, as partículas atmosféricas têm uma grande variedade de tamanhos que vão desde as grandes partículas com cerca de 10 mm até partículas tão pequenas como 0,001 mm (Gomes, 2001). Há uma elevada correlação entre a exposição prolongada a partículas finas e ao aumento de problemas de saúde (Pay *et al.*, 2010). Quanto menor o diâmetro das partículas, maiores são os danos que provocam na saúde, nomeadamente doenças respiratórias, com particular destaque para a bronquite. Têm sido também associadas a patologias do foro cardíaco.

Cerca de um terço dos habitantes das cidades europeias estão expostos a concentrações excessivas de partículas em suspensão na atmosfera, que constituem uma das formas de poluição mais graves para a saúde humana, dado penetrarem em partes sensíveis do sistema respiratório (Comissão Europeia, 2012). Os principais componentes químicos presentes nas partículas são o sulfato, nitrato, amónia, cloreto de sódio, pó de carvão mineral e água (OMS, 2011).

A OMS, estima que uma redução do valor da concentração das PM_{10} de 70 para 20 $\mu g/m^3$ provocará uma diminuição de mortes relacionadas com a qualidade do ar em 15%. Haverá também uma diminuição de infeções respiratórias, doenças cardíacas e cancro do pulmão. Em Portugal, no ano de 2008, o valor médio anual da concentração de PM_{10} era de 28 $\mu g/m^3$, e de $PM_{2,5}$ de 10,8 $\mu g/m^3$ (OMS, 2011).

METAIS PESADOS

Os metais pesados são quimicamente definidos como o grupo de elementos situados entre o cobre e o chumbo na tabela periódica. Estes metais são quimicamente muito reativos e bioacumuláveis, ou seja, o organismo não é capaz de os eliminar de forma rápida e eficaz (Rocha, 2009).

Alguns metais pesados como o chumbo (Pb), mercúrio (Hg), arsênio (As), cádmio (Cd), níquel (Ni), ferro (Fe), alumínio (Al), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e crómio (Cr), encontramse na atmosfera sob a forma de partículas, com a exceção do mercúrio que se encontra na forma vapor. A origem destes metais decorre dos processos de combustão, alguns processos industriais, incineração de resíduos e tráfego automóvel (Onder e Dursun, 2006).

Segundo Apeagyei (2011), Gunawardena (2012) e Johansson (2009), a atividade motora dos veículos automóveis é uma fonte de partículas de metais pesados, provenientes do desgaste dos

travões, dos pneus, de outros elementos e também das emissões do escape. A queima de resíduos eletrónicos, cada vez mais em abundância devido ao desenvolvimento tecnológico, é também uma importante fonte de metais pesados (Deng *et al.*, 2006).

A deposição destes metais nos solos e águas promove a contaminação de toda a cadeia alimentar. No ambiente terrestre podem provocar alterações nas plantas lenhosas, nomeadamente diminuição da produção de proteína solúvel e clorofila (Apeagyei *et al.*, 2011). As plantas têm a capacidade de acumular os metais pesados contendo geralmente concentrações superiores às do ar ambiente (Onder e Dursun, 2006). Quanto à produção de plantas e animais para o consumo humano, a presença de elevados níveis de metais pesados provocam a sua acumulação no organismo humano (inalação, ingestão ou absorção dérmica) podendo causar danos ao nível do sistema nervoso, da função renal, fígado, entre outros (Onder e Dursun, 2006).

O mercúrio está presente na natureza e, sob a forma de metil-mercúrio, tem a capacidade de se acumular nos organismos e, em especial, em organismos situados na fase superior da cadeia alimentar. Está essencialmente presente em alimentos provenientes de lagos, rios e mares, pois o mercúrio proveniente de indústrias de papel, polpa de madeira, materiais elétricos, fábricas de tinta, pesticidas agrícolas, instituições hospitalares e científicas acaba de algumas forma por chegar às águas (Rocha, 2009). O mercúrio, tal como outros contaminantes na atmosfera, podem ser transportados para locais longínquos da sua fonte de produção (Directiva 2004/107/CE).

O chumbo é usado na construção civil, baterias de ácido, munições, proteções contra raios-X e é um constituinte das ligas metálicas para a produção de soldas, fusíveis, revestimentos de cabos elétricos, metais de tipografia, entre outras (Rocha, 2009).

O arsénio pode afetar o trato gastrointestinal, o trato respiratório, a pele, o fígado, o sistema cardiovascular e o sistema nervoso; o chumbo está relacionado com doenças renais, com a neuropatia periférica e a encefalopatia; o cádmio para além dos problemas que pode provocar nos rins pode também causar osteoporose; o chumbo, zinco, manganésio e cobre, segundo estudos desenvolvidos por Kong *et al.* (2011), podem provocar o desenvolvimento de atividades carcinogénicas. Resultados semelhantes foram obtidos por Querol *et al.*, (2000) relativamente ao potencial carcinogénico do arsénio, crómio e níquel. Foi também associada a presença de cádmio, crómio, cobre, e níquel ao desenvolvimento de dermatites e a diferentes tipos de cancro (Onder e Dursun, 2006; Onishi *et al.*, 2012).

Existem provas científicas de que o arsénio, o cádmio, o níquel e alguns hidrocarbonetos aromáticos policíclicos são agentes carcinogénicos genotóxicos para o homem e não existe um limiar identificável abaixo do qual estas substâncias não representem um risco para a saúde

humana. O impacto na saúde humana e no ambiente ocorre por concentração no ar ambiente e por deposição (Directiva 2004/107/CE).

2.1.2. POLUENTES BIOLÓGICOS

Muitos aspetos da nossa vida são afetados pela presença de material biológico existente no meio ambiente. Por exemplo, muitas pessoas manifestam reações alérgicas à presença de pólenes, em especial desde a primavera. A aerobiologia (estudo das partículas biológicas na atmosfera) requer uma compreensão não apenas das partículas biológicas, mas também dos seus mecanismos de dispersão, transporte, deposição ou remoção através da atmosfera e os seus impactos nas plantas, animais e no homem. O principal incentivo para o desenvolvimento de aerobiologia como uma disciplina científica tem sido para além do desejo de compreender a dispersão de doenças humanas, dos animais e das plantas, o desejo de as reduzir ou eliminar (Lacey e West, 2006; Emberlin, 2003-A).

Os tipos e o número dos microrganismos atmosféricos variam com o ambiente. Os germes são influenciados pelas condições meteorológicas e pela natureza do terreno. As partículas sólidas e as microbianas, em suspensão, são levadas a grandes distâncias pelos ventos e correntes aéreas. Em grandes formações de água, a ação das ondas dá origem a aerossóis contendo microrganismos que são igualmente transportados para muitos quilómetros de distância (Pelczar *et al.*, 1980; Seltzer, 1994).

PÓLENES

O pólen faz parte do mecanismo usado pelas plantas para a sua reprodução. São transportados a partir da antera (zona sexual masculina) para o estigma (zona sexual feminina) (Figura 4). A este transporte dá-se o nome de polinização. Os grãos de pólenes mais presentes na recolha de amostra de ar são aqueles cujas plantas têm polinização anemófila, ou seja é efetuada através do vento. Estas plantas tendem a produzir pólen em grande quantidade para aumentar a probabilidade destes chegarem ao estigma. Ao longo do tempo a produção de pólen e o próprio pólen foi evoluindo e surgiram pólenes com características e estruturas melhoradas para aumentar o seu alcance. Alguns pólenes, como o das gramíneas, são suaves, arredondados e secos, enquanto que outros, como o de alguma coníferas, têm sacos de ar para ajudar na flutuação. Em contrate com estes pólenes, outros cujas plantas têm polinização entomófila (através dos insetos) têm uma ornamentação complexa e muitas vezes são viscosas com o objetivo de se poderem fixar com mais facilidade aos insetos. Por fim há algumas espécies que polinizam o pólen tanto através do vento como dos insetos (Emberlin, 2003-B).

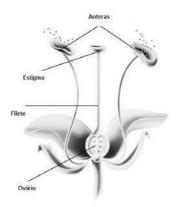


FIGURA 4 – ESQUEMA DA LOCALIZAÇÃO DA ZONA SEXUAL FEMININA (ESTIGMA) E ZONA SEXUAL MASCULINA (ANTERAS)

DA PLANTA NA POLINIZAÇÃO (GONÇALVES E LISBOA, 2009).

Quando o pólen é libertado da planta vai seguir o movimento do fluxo de ar. A forma como o pólen é movido dependerá de fatores como o seu tamanho, forma e massa, bem como das características meteorológicas, tais como turbulência, temperatura e precipitação. O tempo em que o pólen permanece no ar pode variar de uma hora até vários dias (Emberlin, 2003-B).

Todas as partículas serão depositadas por ação da gravidade a uma velocidade proporcional à sua massa. No entanto a resistência da partícula à queda, a densidade do ar e a área transversal da partícula também irão interferir na sua velocidade de deposição. A precipitação também é um fator que promove a deposição de partículas de pólen, nomeadamente através das gotas de chuva, flocos de neve e granizo (Emberlin, 2003-B).

Cada espécie de pólen tem uma morfologia característica, sendo a sua identificação baseada no seu tamanho, na forma dos grãos, no número e na forma das aberturas e pela arquitetura da sua membrana externa (Figura 5). O tamanho do grão de pólen oscila entre 5 µm (Myosotis) e 250 µm (Coníferas), estando o tamanho médio do grão de pólen entre 25 e 35 µm (Bosch–Cano *et al.*, 2011). A parede do grão de pólen é muito resistente à perda de água e de lesões ambientais, principalmente para evitar danos e dessecação durante a viagem aérea. Existem dois tipos principais de formas de abertura, as designadas de *pori* (poros) e as *colpi* (sulcos). A designação dada de forma simplificada aos pólenes com *pori* é *porate*, com *colpi* é *colpate*. Aqueles que têm *pori* e *colpi* são denominados de *heterocolpate* ou *colporate*. Os grãos de pólen podem ser divididos pelo número, localização e características das suas aberturas. O número de aberturas varia de 0 a cerca de 40 e são indicadas anexando os prefixos mono; di; tri; tetra; penta; hexa e poli (mais de seis aberturas). O termo *inaperturate* descreve pólenes sem aberturas. O prefixo *zono* é utilizado quando as aberturas se situam na "linha equatorial" do pólen, o prefixo *panto* é utilizado quando as aberturas estão em toda a superfície (Frenguelli, 2003-A).

	DI-	TRI-	TETRA-	PENTA-	HEXA-	POLY-	
	polar eq.	polar eq.	polar eq.	polar eq.	polar eq.	polar eq.	
ZONOPORATE	00		000	000			
	e.g. Colchicum	e.g. Betula	← e.g	Alnus, Ulmus			
ZONOCOLPATE	00	S(I)	G(I)	£3(II)	ENS (11)	£13(III)	
	e.g. Tofieldia	e.g. Acer	e.g. Hippuris	e.g. Labi	i atae, Rubiaceae ———	-	
ZONOCOLPORATE		530	5	8300	£3(1)	£73 (1)	
		e.g. Parnassia	e.g. Rumex	e.g. Viola	e.g. Sanguisorba	e.g. Utricularia	
PANTOPORATE			000	(°) (°)			
a		≺	e.g. Urtica	e.g. Plantago	>	Chenopodiaceae	
PANTOCOLPATE							
			e.g. Ranunculaceae		e.g. Spergula	e.g. Polygonum amphibium	
PANTOCOLPORATE							
			e.g. Rumex		e.g. Polygonum raii		

FIGURA 5 – CLASSIFICAÇÃO DOS DIFERENTES TIPOS DE PÓLEN DE ACORDO COM O NÚMERO E DISPOSIÇÃO DAS ABERTURAS (FRENGUELLI, 2003-A).

Foram analisadas as tendências da circulação de pólen na Europa Central (Makra, *et al.*, 2011). Do estudo pode-se concluir que houve um aumento de concentração para a maioria das espécies de pólen. Para além das variáveis meteorológicas, as concentrações de pólen são influenciadas também por fatores agrícolas e sociais, incluindo a urbanização, os novos investimentos em antigas áreas agrícolas e a construção de autoestradas. O abandono das terras agrícolas para fins de construção pode contribuir para um aumento das regiões com ervas daninhas e portanto, provocar um aumento na produção de pólen (Makra, *et al.*, 2011).

Esta tendência não se verifica apenas na Europa, a Associação Brasileira de Alergia e Imunologia (ASBAI) e a Sociedade Portuguesa de Alergologia e Imunologia Clínica (SPAIC) realizaram um estudo que teve como objetivo identificar os principais tipos polínicos presentes na atmosfera da cidade de S. Paulo (Brasil) durante o inverno e a primavera. Durante o período de estudo (8 de julho a 22 de dezembro de 2009) contabilizou-se um total de 8.285 grãos de pólen, de cerca de 82 tipos diferentes (Gonçalves da Silva *et al.*, 2010).

A poluição química pode provocar alterações tanto na concentração de pólenes como na sua morfologia. As plantas absorvem os poluentes atmosféricos através das folhas e do sistema radicular. Também a deposição destes poluentes nos solos e consequente alteração do teor de

nutrientes pode provocar alterações metabólicas na planta. O processo de fotossíntese é assim afetado provocando alterações na integridade estrutural da planta e consequentemente no seu pólen e na sua atuação enquanto alergénio (D'Amato *et al.*, 2001).

FUNGOS

Os fungos são organismos heterotróficos, obtendo a sua alimentação a partir da matéria orgânica inanimada ou nutrindo-se como parasitas de hospedeiros vivos. Como saprófitas, decompõem resíduos complexos de plantas e animais, transformando-os em formas químicas mais simples, que retornam ao solo (Pelczar *et al.*, 1980). Durante muito tempo foram classificados no reino vegetal, atualmente, fazem parte do reino dos fungos que agrupa os cogumelos, os bolores, as leveduras e inúmeras espécies microscópicas.

Provêm de esporos fúngicos que se propagam em condições específicas de humidade, iluminação e temperatura. Os esporos de fungos são aeroalergénios muito frequentes, com grande capacidade de flutuação e uma dimensão que varia entre os 2 e os 20 mm de diâmetro (Bauer *et al.*, 2008).

A sensibilidade aos fungos, por indivíduos com doenças do trato respiratório inferior (ex: asma), para além de provocar o agravamento da doença, também a torna mais persistente (Knutsen *et al*, 2012).

2.2. EFEITOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A poluição atmosférica antropogénica é a principal responsável pela degradação do ar ambiente. Os seus efeitos são notados tanto nos materiais, como na vegetação e na saúde humana.

2.2.1. EFEITOS NOS MATERIAIS

Foram atribuídos à poluição atmosférica cinco mecanismos de deterioração dos materiais: deposição, abrasão e remoção, ataque químico direto e ataque químico indireto.

Partículas sólidas de tamanho suficientemente grande que se deslocam a uma velocidade suficientemente elevada podem causar a deterioração por abrasão. Pequenas partículas de sólidos e líquidos, que se depositam sobre as superfícies expostas causam sobretudo uma deterioração estética, embora para certos monumentos e edifícios de interesse nacional e internacional, esta forma de deterioração seja em si bastante inaceitável. As reações de oxidação/redução tipificam o ataque químico direto. O dióxido e o trióxido de enxofre, na presença de água, reagem com a pedra calcária (CaCO₃), para formar sulfato de cálcio (CaSO₄) e gesso. O ataque químico indireto ocorre quando os poluentes são absorvidos e, em seguida, reagem com algum componente do

absorvente de modo a formar um composto destrutivo, seja por oxidação ou redução (Davis e Cornwell, 1991).

2.2.2. EFEITOS NA VEGETAÇÃO

A folha é o principal indicador dos efeitos da poluição do ar sobre as plantas. O ozono provoca a formação de manchas de cor vermelho-acastanhado que se transformam em branco depois de alguns dias. Estas lesões ocorrem maioritariamente em dias de sol e calor. Nestas condições a planta fica mais suscetível à introdução de outros poluentes. O crescimento das plantas pode ser inibido pela exposição contínua a 0,5 ppm de NO₂. Níveis de NO₂ superiores a 2,5 ppm, por períodos superiores a quatro horas podem provocar necroses (superfície manchada devido à perda de protoplasma). As lesões provocadas pelo dióxido de enxofre também são caracterizadas por necroses, mas a níveis muito mais baixos, pois uma concentração de 0,3 ppm durante oito horas é suficiente para o seu aparecimento. Com concentrações mais baixas, mas com períodos de exposição mais elevados surgem branqueamento das folhas (Davis e Cornwell, 1991).

A consequência da poluição atmosférica vai para além do dano superficial nas folhas atrás referido, provoca igualmente um menor crescimento das plantas e a produção de frutos de menores dimensões. A morte precoce da planta é outra consequência observada do excesso de poluentes atmosféricos. Há alguns problemas que dificultam o diagnóstico do efeito da poluição atmosférica nas plantas, nomeadamente secas, insetos, doenças, excesso de herbicidas e deficiências de nutrientes, pois os danos causados são muito semelhantes. Outro aspeto muito relevante para a saúde da planta é a combinação de poluentes que por si só não são causadores de danos, contudo, combinados entre si, podem produzir efeitos agudos (Davis e Cornwell, 1991).

2.2.3. EFEITOS NA SAÚDE HUMANA

É difícil avaliar os efeitos da poluição atmosférica na saúde humana. Indivíduos fumadores estão expostos a concentrações de poluentes atmosféricos muito mais elevadas do que as encontradas na atmosfera ambiente. A exposição ocupacional também pode resultar numa exposição a doses de poluição muito acima daquelas encontradas ao ar livre.

Segundo Davis e Cornwell, 1991, testes em roedores e outros mamíferos são difíceis de interpretar e aplicar à anatomia humana, de qualquer forma as concentrações permissíveis deveriam ser mais baixas do que as apuradas pelos testes aos roedores por existirem pessoas mais suscetíveis, nomeadamente com doenças cardiorrespiratórias.

O sistema respiratório é o principal indicador dos efeitos da poluição atmosférica em humanos. Os principais órgãos do sistema respiratório são o nariz, faringe, laringe, traqueia, brônquios e pulmões. O nariz, faringe, laringe e traqueia em conjunto compõem o trato respiratório superior, cujos efeitos primários da poluição atmosférica são o agravamento do sentido do olfato e a não remoção do muco e das partículas aprisionadas. O trato respiratório inferior é constituído pelo pulmão e as suas estruturas ramificadas conhecidas como brônquios, que é composto por alvéolos com cerca de 300 µm de diâmetro.

O grau de penetração de partículas no trato respiratório inferior depende do seu tamanho e da taxa de respiração. Partículas maiores do que 5 a 10 µm são filtradas pela pilosidade do nariz, cujos espirros também ajudam no processo de remoção. Partículas na gama de tamanho de 1 a 2 µm penetram nos alvéolos, pois são pequenas o suficiente para não serem filtradas no trato respiratório superior, no entanto são grandes o suficiente para que a sua velocidade de sedimentação lhes permita depositar no trato respiratório inferior.

Diversas doenças crónicas do sistema respiratório são seriamente agravadas devido à poluição atmosférica. Pode ocorrer um estreitamento das vias respiratórias devido à presença de substâncias irritantes, dificultando a respiração. A Asma brônquica é uma forma de resistência das vias aéreas que pode resultar de uma alergia. Na presença de um ataque de asma a superfície de troca gasosa é reduzida drasticamente.

Segundo a OMS, a poluição atmosférica do ar exterior terá sido responsável por 40% dos casos de doença isquémica do coração, 40% de ataques cardíacos, 11% das doenças respiratórias obstrutivas e 6% dos cancros no pulmão (OMS, 2014).

A DOENÇA ALÉRGICA

As alergias são reações por parte do organismo a substâncias que considera nocivas, mesmo que na realidade não sejam.

Nas últimas décadas, verificou-se um aumento substancial na prevalência das doenças alérgicas, com as tendências a apontarem para que cerca de metade dos europeus sejam afetados em 2015 (Couto e Morais de Almeida, 2011). Este incremento parece estar sobretudo relacionado com estilos de vida associados ao desenvolvimento, como o sedentarismo, a maior permanência no interior dos edifícios, a menor prática de exercício físico, o aumento da poluição atmosférica e de consumo de tabaco, as alterações dos regimes alimentares e a obesidade. A rinite, a asma e o eczema atópico são as doenças alérgicas mais frequentes e podem manifestar-se desde os primeiros meses de vida (Sicard *et al.*, 2011). O termo "rinite" significa literalmente "inflamação

do nariz". É caracterizada por espirros e obstrução nasal. Além disso, é frequentemente acompanhada de conjuntivite (comichão, olhos vermelhos e lacrimejantes) e também irritação na garganta.

A nível mundial, a asma é uma das doenças crónicas mais frequentes, afetando mais de 300 milhões de pessoas e calcula-se que seja responsável por cerca de 250 000 mortes todos os anos. O peso da asma, avaliado em termos de anos de vida coloca-a em 22.º lugar, com um impacto semelhante ao da diabetes ou da doença de Alzheimer, implicando custos globais muito significativos, tanto em termos de custos diretos, designadamente internamentos hospitalares e medicamentos, como indiretos, como por exemplo o tempo de trabalho perdido e a morte prematura. O maior aumento de asma ocorreu nos países industrializados ocidentais. Aumentou cerca de 1,3% em 1974 para 5,0% em 1985 e de 5,8% em 1991 para 10,7% em 1994. Há maior incidência de asma em regiões urbanas, este facto pode estar relacionado com a exposição a ácaros e pólenes e a doenças infeciosas como o sarampo e os vírus respiratórios (Ho *et al.*, 2007). Os sintomas mais comuns são a dispneia (dificuldade em respirar) e o aperto no peito (The UCB Institute of Allergy, 2005).

3. METEOROLOGIA E POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

É essencial conhecer os principais mecanismos meteorológicos que afetam as concentrações dos poluentes na atmosfera no tempo e no espaço, a fim de os compreender e de aumentar a possibilidade de criar modelos de previsão credíveis. Os principais fatores meteorológicos são a direção e velocidade do vento, precipitação, temperatura e humidade relativa.

A meteorologia é um fator determinante no desenvolvimento de uma bolsa de gases ou de uma pluma de gases que é libertada por uma chaminé desde o momento que é lançada para a atmosfera até ao momento em que é detetada em qualquer outro lugar mais ou menos distante. A turbulência do ar provoca a diluição da concentração dos poluentes. A movimentação dos ventos é resultante das forças devidas aos gradientes de pressão, aceleração de Coriolis (devida ao movimento de rotação da terra e às forças de atrito com a topografia). A velocidade do vento altera-se também com a altitude, em função do terreno e da hora do dia (Gomes, 2001).

O vento é uma grandeza vetorial e como tal apresenta 3 componentes sendo que a sua resultante determina a direção do vento em cada instante. A componente vertical do vento é responsável pela turbulência, enquanto que as outras componentes determinam essencialmente o transporte e a diluição das plumas de poluição. A velocidade do vento aumenta em altura afetando de uma forma mais direta a massa de poluentes emitidos pelas chaminés mais elevadas principalmente no momento inicial da mistura dos gases de saída com a camada atmosférica. Em condições de grande estabilidade da atmosfera o transporte das plumas em altura pode ser feito a longas distâncias e levar a situações de concentrações de poluentes a nível do solo em locais onde não há fontes poluentes próximas (APA, 2012).

Os processos atmosféricos e a circulação associada aos grandes centros de ação determinam e afetam o estado do tempo sobre os continentes e grandes oceanos do globo. Aos centros de altas pressões, denominados de anticiclones, estão associadas condições de tempo caracterizadas por grande estabilidade com pouca mistura vertical e portanto fraca dispersão dos poluentes. Pelo contrário, os centros de baixa pressão associam-se a condições de instabilidade e de grande turbulência que favorecem a dispersão dos poluentes. Estas situações à escala sinóptica, que influenciam as condições de turbulência e de estabilidade da atmosfera, têm por vezes durações mais ou menos prolongadas podendo, nas condições desfavoráveis à dispersão, levar a episódios de poluição aguda como, por exemplo, o smog no inverno ou o smog fotoquímico no verão (APA, 2012).

A dispersão de poluentes numa situação de inversão térmica, pode provocar um episódio agudo de poluição pois, numa situação normal (Figura 6-A), a temperatura do ar vai diminuindo com a altitude. Este fenómeno ocorre porque a radiação solar aquece a superfície da terra e esta, por sua vez, aquece a camada de ar mais próxima. Esta camada, ao aquecer torna-se menos densa e sobe (movimento vertical ascendente) provocando a descida do ar mais frio (movimento vertical descendente). Estas correntes de convecção promovem a dispersão dos poluentes.

Por sua vez, numa situação invertida de temperatura (Figura 6-B) a camada de ar mais próxima da superfície da terra tem uma temperatura inferior à camada superior. Esta camada vai servir de barreira à dispersão de poluentes. Este fenómeno ocorre essencialmente no inverno devido ao brusco arrefecimento da superfície da terra.

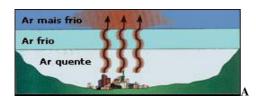




FIGURA 6 – SITUAÇÃO NORMAL DE DISPERSÃO DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS (A); SITUAÇÃO DE DISPERSÃO DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS SOB O EFEITO DE INVERSÃO TÉRMICA (B) (APA, 2012).

Junto à costa começa frequentemente a fazer-se sentir, no fim da manhã, um vento vindo do mar, que atinge o máximo no princípio da tarde e desaparece ao anoitecer. Esta brisa marítima (Figura 7-A) é mais forte nos dias quentes, mas pode ser mais fraca quando o céu está nublado. A causa fundamental do movimento do ar é a diferença de aquecimento entre as superfícies da terra e do mar sendo que, ao princípio da tarde, esta diferença acentua-se fazendo com que o gradiente de pressão local entre o mar e a terra se torne mais intenso (APA, 2012).

Nas regiões costeiras é também frequente o aparecimento de brisa noturna. Esta sopra da terra para o mar em razão do arrefecimento mais acentuado da superfície da terra do que da massa de água do oceano. As brisas terrestres (Figura 7-B) não são, em geral, tão fortes como as marítimas uma vez que as diferenças de temperatura são menores, criando um gradiente de pressão local mais fraco (APA, 2012).



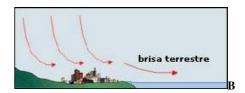


FIGURA 7 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UMA BRISA MARÍTIMA (A); REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UMA BRISA TERRESTRE (B) (APA, 2012).

A precipitação, mesmo que seja diminuta, provoca normalmente uma diminuição acentuada da concentração de partículas no ar. A altura do dia em que chove é também um elemento importante em determinados agentes poluentes. Por exemplo, a maioria das gramíneas libertam pólenes durante o período da manhã, pelo que a precipitação nesse período do dia favorece a diminuição da concentração de pólen na atmosfera. Pelo contrário, se a precipitação ocorre durante a tarde, as gramíneas já libertaram os pólenes e a contagem tenderá a ser mais elevada (Emberlin, 2003-B).

Também a temperatura provoca alterações tanto na poluição química, como na biológica. A concentração de ozono tende a aumentar com o aumento da temperatura associado a um elevado índice UV e a uma baixa intensidade do vento. As inversões térmicas estão também relacionadas com o aumento da concentração de material particulado, SO₂ e NO₂. A concentração de pólenes é influenciada por muitos fatores como o tipo de espécies, a idade da planta, o tipo de solo, a temperatura, a luz solar e a humidade (D'Amato *et al.*, 2001).

Inês Catarina Pinheiro Dos Santos Lisboa	

4. SITUAÇÃO GEOGRÁFICA E CARACTERÍSTICAS GEOCLIMÁTICAS DA REGIÃO DA GUARDA

4.1. SITUAÇÃO GEOGRÁFICA DA REGIÃO DA GUARDA

A localização e o clima das regiões são fatores muito importantes na qualidade do ar atmosférico. Sob o ponto de vista da contaminação biológica, a ocupação do solo é uma das causas da variabilidade da qualidade do ar e do tipo de pólen presente. Para além destes fatores, outros de origem antropogénica são igualmente relevantes. Assim o consumo de combustível, o tipo de indústria, a construção, o tráfego rodo e ferroviário bem como o transporte aéreo são fatores a ter em conta.

O Concelho da Guarda fica localizado na província da Beira Alta, confinante com os concelhos de Celorico da Beira, Pinhel, Sabugal, Manteigas e Belmonte (Figura 8). Trata-se de um concelho de dimensão média, composto por 42 freguesias rurais e uma urbana, compreendendo três bacias hidrográficas: Mondego, Côa e Zêzere.

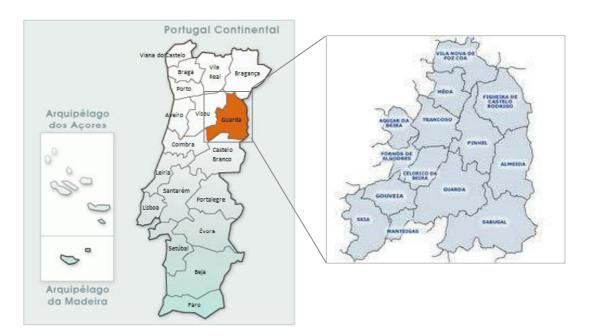


FIGURA 8 – LOCALIZAÇÃO DO DISTRITO DA GUARDA E RESPETIVOS CONCELHOS.

Situa-se no último esporão Norte da Serra da Estrela, sendo a altitude máxima de 1056 m (na Torre de Menagem). Em Portugal, a Guarda é a cidade com mais altitude, com domínio visual dos vales do Mondego e do Côa. Pertence à Beira Interior Norte segundo a divisão territorial NUTS III. A Beira Interior Norte engloba os concelhos de Meda, Trancoso, Celorico da Beira, Guarda, Figueira de Castelo Rodrigo, Pinhel, Almeida e Sabugal (Figura 9).



FIGURA 9 – LOCALIZAÇÃO DA CIDADE DA GUARDA NA BEIRA INTERIOR NORTE, SEGUNDO A DIVISÃO TERRITORIAL NUTS

III (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA REGIÃO CENTRO, 2011).

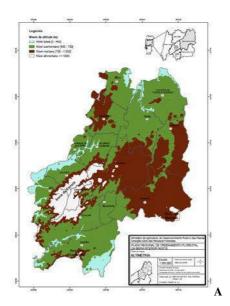
Estando a cidade da Guarda situada numa região com uma amplitude térmica e a uma altitude muito elevada, portanto num ambiente extremo, torna a temática da meteorologia muito importante para o conhecimento do comportamento dos poluentes atmosféricos.

4.1.1. Orografia da região da Guarda

Para além dos fatores meteorológicos, a dispersão de poluentes é fortemente afetada pela orografia, uma vez que esta constitui um dos elementos mais importantes na caracterização do escoamento das massas de ar de um dado local, como por exemplo, terreno plano, elevações de declive suave ou terreno montanhoso (Jervell, 2008).

As montanhas, depressões, vales e "gargantas" podem alterar as características do escoamento atmosférico de diferentes formas. O aquecimento das encostas das montanhas durante o dia e arrefecimento durante a noite fazem com que o ar adjacente à montanha aqueça ou arrefeça por condução e mistura. A diferença de temperatura entre o ar perto da montanha e o ar à volta, pode dar origem a fenómenos térmicos. Este fenómeno vai provocar turbilhões a montante ou a jusante da montanha podendo atingir distâncias de várias vezes a altura da montanha, consoante o declive da mesma (Jervell, 2008).

Para a região da Beira Interior Norte predominam os níveis montano e submontano (Figura 10 - A) cujos declives variam entre 0 e 10% (Figura 10 - B) (PROF-BIN, 2006).



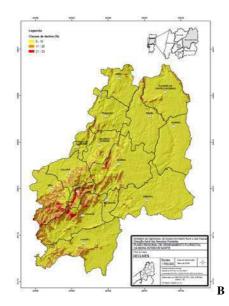


FIGURA 10 – CARTOGRAFIA DE ALTIMETRIA DA REGIÃO DA GUARDA (A); CARTOGRAFIA DE DECLIVES DA REGIÃO DA GUARDA (B) (PROF-BIN, 2006).

4.1.2. Ocupação do solo da região da Guarda

A presença de pólen na atmosfera está fortemente dependente da ocupação do solo. Assim o coberto vegetal presente na região é um elemento muito importante, pois influência a concentração de pólenes e partículas no ar da região (Rica, 2003).

A superfície das explorações agrícolas ocupa 50% do total da área da região, sendo que dessas explorações a floresta representa apenas 11%. Os espaços florestais ocupam cerca de 67% da área total da região, caracterizando-se na sua maioria (45%) por espaços florestais não arborizados (PROF-BIN, 2006).

A percentagem de povoamentos florestais por espécie de árvore irá influenciar o tipo e a quantidade de pólenes encontrados. Como se pode pela Figura 11 as principais espécies de árvores presentes na Beira Interior Norte é o pinheiro bravo, o carvalho e o eucalipto.

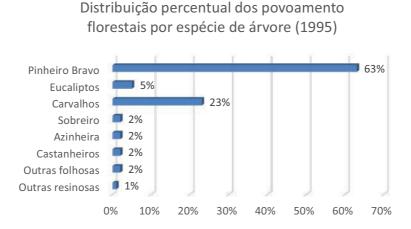


FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DOS POVOAMENTOS FLORESTAIS, NA BEIRA INTERIOR NORTE, POR ESPÉCIE DE ÁRVORES EM 1995 (ADAPTADO DE PROF-BIN, 2006).

Há que ter em conta que esta informação é relativa ao ano de 1995 e anteriores, e que não contempla os últimos incêndios florestais, logo as percentagens acima referidas podem ser atualmente diferentes. Não dispomos de informação mais recente, dado que os PROF são realizados apenas de 10 em 10 anos.

Segundo o Anuário Estatístico da Região Centro, a superfície agrícola utilizada na região da Guarda é de 19248 ha, estando repartidos segundo a Figura 12, por pastagem arável, terra arável e culturas permanentes. Como podemos verificar a maior percentagem diz respeito às pastagens permanentes, as quais poderão contribuir, de forma significativa, para a concentração de pólenes de gramíneas no ar da região.

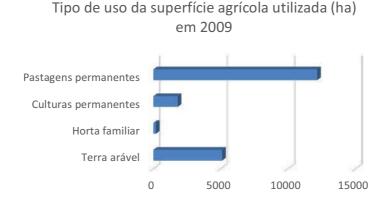


FIGURA 12 - TIPO DE USO DA SUPERFÍCIE AGRÍCOLA UTILIZADA (HA) (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA REGIÃO CENTRO, 2011).

O Plano Regional de Ordenamento Florestal da Beira Interior Norte (PROF-BIN), indica qual a época de floração de algumas espécies de árvores e arbustos (Tabela 9).

TABELA 9 – ÉPOCA DE FLORAÇÃO DE ALGUMAS ÁRVORES E ARBUSTOS (ADAPTADO DE PROF-BIN, 2006).

Espécies		Época de Floração	
	Ulmeiro	fev mar.	
Árvores	Castanheiro	maio - jun.	
	Acácia austrália	fev mar.	
	Eucalipto	nov maio	
	Cerejeira brava	mar maio	
	Choupos	jan mar.	
	Salgueiros	fev maio	
	Carvalho roble	abril	
	Carvalho negral	abr maio	
	Robínia	maio	
	Sophora 33apónica	julho	
	Sorveira	maio	
	Tília	jun jul.	
Arbustos	Hera	set nov.	
	Sabugueiro	abr jul.	
	Aveleira	dez mar.	
	Medronheiro	set fev.	
	Loureiro	fev abr.	
	Pilriteiro	abr maio	

Também a Rede Portuguesa de Aerobiologia (RPA), tem um calendário, para a zona centro, da época de polinização de algumas espécies florestais (Figura 13).

... Amieiro Quenopódio Cipreste Eucalipto Oliveira Parietária • • • • Pinheiro Tanchagem .. Gramineas . . . Carvalho /Sobreiro Azeda Artemisia

FIGURA 13 – CALENDÁRIO POLÍNICO DA REGIÃO CENTRO (REDE PORTUGUESA DE AEROBIOLOGIA, 2009).

Conhecer as espécies de pólen que surgem nos distintos meses do ano é útil para o diagnóstico e tratamento de doenças alérgicas provocadas por pólenes (Rica, 2003). A par da informação

constante no PROF-BIN sobre a época de floração de algumas espécies e através do calendário polínico da RPA para a região centro podemos ajustar os dados e obter um calendário mais específico para a região da Guarda. Estas informações em relação ao início/fim da época de polinização de cada espécie poderão ser também uma referência para o estudo a realizar.

4.1.3. CLIMA DA CIDADE DA GUARDA

De acordo com os dados obtidos no Instituto Português do Mar e da Atmosfera, a cidade da Guarda, entre 1941 e 2003, registou uma temperatura mínima record de -12,3°C (11 de fevereiro de 1956) e uma temperatura máxima record de 36,1°C (1 de agosto de 2003). Entre os anos de 1971 e 2000, registaram-se, em média, por ano, 39,9 dias com temperaturas iguais ou inferiores a 0°C e 7,4 dias com temperaturas iguais ou superiores a 30°C.

Os dados anteriores, bem como a Figura 14, que evidencia as normais climatológicas provisórias, colocam em evidência as elevadas amplitudes térmicas que se registam na cidade da Guarda ao longo do ano, e que podem atingir valores entre os 25 e os 30°C.

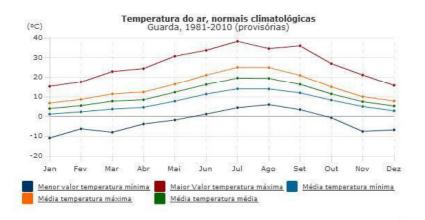


FIGURA 14 – TEMPERATURA DO AR, NORMAIS CLIMATOLÓGICAS, DA CIDADE DA GUARDA ENTRE 1981 E 2010 (PROVISÓRIAS) (INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA, 2012).

A precipitação é outro fator meteorológico muito importante, pois a sua ocorrência tende a diminuir a concentração de poluentes existentes na atmosfera. Na cidade da Guarda, os valores médios da quantidade total de precipitação variam, aproximadamente, entre os 10 mm nos meses mais quentes e os 150 mm nos meses mais frios (Figura 15). Estes dois aspetos, a amplitude térmica e a precipitação, associadas ao facto de ser uma região com escassa indústria com impacte significativo na qualidade do ar, podem explicar algumas das características bioclimáticas únicas da região Guarda.

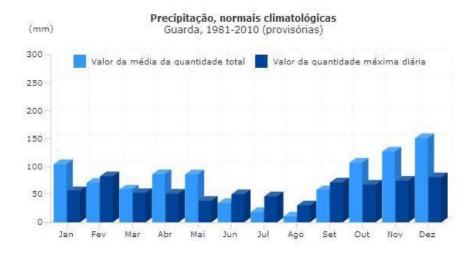


FIGURA 15 – PRECIPITAÇÃO, NORMAIS CLIMATOLÓGICAS, DA CIDADE DA GUARDA ENTRE 1981 E 2010 (PROVISÓRIAS) (INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA, 2012).

Inês Catarina Pinheiro Dos Santos Lisboa		

5. MODELOS DE PREVISÃO

O problema da poluição do ar atmosférico põe em causa a saúde de um número cada vez maior de pessoas, para além do próprio equilíbrio ecológico do ecossistema. A previsão da qualidade do ar é um desafio e um problema científico que surgiu recentemente como uma grande prioridade em muitos países industrializados, devido à crescente consciência do efeito da emissão de poluentes atmosféricos sobre a saúde e o meio ambiente (Borrego *et al.*, 2011).

Os modelos de previsão da qualidade do ar são uma ferramenta útil para entender a dinâmica dos poluentes atmosféricos, analisar e prever a qualidade do ar, desenvolver planos de redução de emissões e alertar a população sobre possíveis problemas de saúde. Poderá também ajudar a evitar desastres ambientais e sociais e a aumentar a consciência ambiental das populações (Luo e Cao, 2012; Pay *et al.*, 2010). Outro dos objetivos destes modelos é minimizar o espaço de tempo que existe entre cada monitorização e respetivo processamento dos dados.

Para que estes modelos sejam fiáveis é importante que relacionem bem as complexas relações entre as fontes de poluentes e as concentrações no ambiente (Henderson *et al.*, 2011).

Existem atualmente três sistemas de modelação/previsão de qualidade do ar, com alta resolução em Portugal continental, nomeadamente, MM5-Chimere, MM5 EURAD e o CALIOPE. Estudos verificaram que o modelo CALIOPE inclui uma rede de alta resolução computacional (12 x 12 km), enquanto que outros modelos usam uma resolução horizontal de 25 x 25 km; inclui uma descrição complexa dos processos envolvidos na modelação de partículas; considera a influência da poeira do deserto do Saara numa base não climática (Pay *et al.*, 2010; Baldasano *et al.*, 2011). Todos estes fatores como a alta resolução computacional, a descrição dos processos envolvidos na modelação de partículas e a influência da poeira do deserto do Saara contribuem para que este modelo obtenha concentrações de poluentes mais próximas das efetivamente registadas. Por sua vez, este modelo não tem em conta a previsão da concentração de PM₁. De qualquer forma, este foi o modelo de previsão escolhido para consultar e comparar os resultados obtidos.

5.1. PROGRAMA DE MODELAÇÃO CALIOPE

O projeto CALIOPE, financiado pelo Ministério da Agricultura, Alimentação e Meio Ambiente do governo espanhol, tem como principal objetivo o desenvolvimento de um sistema operacional de modelação da qualidade do ar em Espanha, de forma a fornecer um serviço de previsão da qualidade do ar com alta resolução espacial para a Península Ibérica, Ilhas Baleares e Canárias (Baldasano *et al.*, 2011).

São quatro os institutos de investigação espanhola que integram o CALIOPE, nomeadamente, o Barcelona Supercomputing Center - Centro Nacional de Supercomputación (BSC-CNS), o Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), o Instituto de Ciências da Terra Jaume Almera do Centro Superior de Investigaciones Científicas (IJA-CSIC) e o Centro de Estudios Ambientales del Mediterraneo (CEAM). BSC-CNS e CIEMAT desenvolvem o modelo do projeto enquanto que IJA-CSIC e CEAM são responsáveis por recolher os dados efetivamente monitorizados para processos de avaliação (Pay et al, 2010).

Este projeto propõe a realização de simulações de prognóstico (48 horas) de qualidade do ar através de um sistema integrado de modelos que representam o estado atual do conhecimento em modelação de qualidade do ar. O sistema proposto consiste num sistema modelo com três módulos básicos: (1) modelo meteorológico de mesoescala, (2) modelo de emissões, e (3) modelo de qualidade do ar. O sistema é complementado por um quarto módulo que valida os resultados das previsões e identifica qualitativamente e quantitativamente, a capacidade do sistema para prever a poluição da qualidade do ar (Sistema Caliope, 2013).

Foram vários os autores (Pay, et al, 2010 e 2012; Basart et al, 2012; Baldasano et al, 2011; Borrego et al, 2011; Sicardi et al, 2012) que avaliaram a eficácia do modelo, no que diz respeito, às suas previsões na Europa em geral e mais especificamente em várias regiões e cidades de Espanha. Seguem-se algumas das conclusões retiradas por Pay et al. (2010) para as previsões da concentração de ozono, dióxido de azoto, dióxido de enxofre e material particulado.

OZONO

Para o O₃ foram utilizados os dados de 60 estações do Programa Europeu de Monitorização e Avaliação (EMEP) para comparar os resultados observados com os simulados. A tendência anual é muito próxima da efetivamente observada com um coeficiente de correlação de r=0,66 para a média anual diária e r=0,69 para as concentrações máximas diárias.

Os resultados demonstram que há diferenças na eficácia do modelo, nos meses mais frios e nos meses mais quentes. No período de janeiro a março e de outubro a dezembro o modelo tende a subestimar a concentração média em cerca de 5,8 µg/m³, ao passo que sobrestima ligeiramente as concentrações nos meses de verão (7,5 µg/m³).

Para valores extremos (acima de $150\,\mu\text{g/m}^3$) as concentrações são sistematicamente subestimadas pelo modelo. É verificada uma melhor correlação sazonal na Inglaterra e no Centro e Sul da Europa, do que na Irlanda, Norte da Europa e ao longo do Mar Báltico. O facto desta zona se

encontrar na proximidade da fronteira do domínio do modelo, pode justificar a menor correlação nesta área.

O modelo apresenta melhores resultados no verão do que no inverno, com um valor mínimo de correlação de 0,4 e de 0,1 respetivamente. Este comportamento está relacionado com o facto da produção fotoquímica de ozono ser melhor estimada no verão do que no inverno.

DIÓXIDO DE AZOTO

Foram utilizadas 43 estações de monitorização para a comparação de dados de NO₂. A variabilidade espacial e temporal da concentração de NO₂ é superior à do O₃, o que reflete a maior sensibilidade do modelo aos fatores meteorológicos e à resolução.

A variação anual medida é semelhante à estimada, embora com concentrações subestimadas. A média anual tem uma correlação alta (r=0,67), com melhores desempenhos no inverno do que no verão. A variação da média anual e sazonal é relativamente elevada variando de -4,5 a -2,7 μg/m³). Concentrações superiores a 70 μg/m³ são particularmente subestimadas.

As concentrações são mais elevadas no inverno no Reino Unido, países do Norte da Europa e algumas estações espanholas. Nestas regiões as emissões de NO_X são, de um modo geral, altas ou muito baixas. As baixas correlações estão concentradas sobretudo na Europa Central (0,2<r< 0,4).

DIÓXIDO DE ENXOFRE

Para o SO₂, os resultados do modelo são comparados com 31 estações do EMEP. As estações estão localizadas em toda a Península Ibérica, Centro e Norte da Europa. É importante realçar que os dados provêm de estações que fornecem concentrações de fundo (background). A média diária das concentrações de SO₂, quando comparada com a média diária simulada, demonstra o bom funcionamento do modelo, embora superestime alguns picos.

Durante os meses mais frios (janeiro, fevereiro, março, outubro e novembro) o modelo tem uma variação muito aproximada aos valores observados. Por outro lado, durante o período quente (abril, maio, junho, julho, agosto e setembro) os resultados mostram uma variação positiva global de 1 μ g/m³. Embora exista uma clara sobrestimação durante alguns períodos, o modelo é capaz de reproduzir as variações das concentrações médias diárias. Os resultados do modelo, com base nos dados diários, têm uma correlação anual de 0,6.

A distribuição espacial do coeficiente de correlação apresenta uma grande variabilidade por estação. Por exemplo, durante o inverno, enquanto que algumas estações do norte têm uma alta correlação (0,6< r<0,9), outras estações localizadas nos países da Europa Central e Meridional

têm baixas correlações. Durante o verão a correlação melhora nas estações localizadas na Europa Central.

Em Espanha o modelo é mais homogéneo, ao longo do ano, com uma diferença de correlação entre o verão e o inverno menos pronunciada do que na Europa Central. No entanto, a correlação por estação é um pouco mais baixa do que no resto da Europa, especialmente durante o verão.

Considerando o verão e o inverno, os resultados mostram uma baixa variação em todas as estações. Apenas uma estação localizada no leste da Polónia exibe uma grande variação positiva (> 5µg/m³, no verão). Esta estação pode contribuir para a variação da média anual, atrás mencionada.

MATERIAL PARTICULADO

Um total de 16 e 25 estações de monitorização são utilizados para comparar os dados observados com os simulados para as PM_{2.5} e as PM₁₀, respetivamente.

Embora o modelo apresente uma variação sistemática negativa, tem uma notável capacidade de reproduzir a dinâmica das PM_{2.5} ao longo do ano. Os coeficientes de correlação para o inverno e o outono são de 0,62 e 0,52, respetivamente, e de 0,5 e 0,4 para a primavera e verão.

A fim de avaliar a variabilidade das PM na comparação com os dados, foi multiplicada a série de dados anual por um fator de correção 2. Comparando os dados agora corrigidos, o modelo tem resultados muito bons. É capaz de reproduzir a evolução diária das PM_{2.5} ao longo do ano, no entanto tende a subestimar os picos durante o inverno, enquanto que, no verão sobrestima alguns episódios.

Para as partículas PM_{10} as correlações anuais são superiores que para as $PM_{2.5}$, com uma correlação da média anual de 0,57. O modelo é capaz de reproduzir a maioria das partículas em suspensão, apesar de quase reproduzir a amplitude dos dados e apresentar uma subestimação sistemática.

O modelo apresenta um melhor desempenho no sul que no norte da Europa, para as PM₁₀. As estações localizadas entre o Mar Báltico e o Mar do Norte têm um fraco coeficiente de correlação sazonal (0,1<r<0,3). No entanto, nas estações da Europa Central (Alemanha, Suíça, Áustria), estações que são principalmente afetadas pelas fontes antropogénicas, apresentam um bom desempenho para as PM₁₀. As correlações são de 0,3 a 0,7 durante o inverno e melhoram durante o verão.

De todas as zonas costeiras atingidas pelo deserto do Saara, as estações em Espanha exibem as maiores correlações. No sul da Europa as estações atingidas pela poeira do Saara, nomeadamente Espanha e Itália, as correlações são elevadas ao longo de todo o ano (0,5<r<0,9).

Nesta investigação é também nosso objetivo realizar um estudo comparativo entre os resultados experimentalmente obtidos e os resultados fornecidos através do CALIOPE, a fim de perceber se este sistema permite, com confiança, fornecer dados que possam ser usados na região da Guarda e se poderão ser utilizados como um serviço de alerta às populações de modo a proteger a saúde daqueles que nela habitam.

Inês Catarina Pinheiro Dos Santos Lisbo	DA	

6. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são identificados os locais de instalação dos equipamentos para a recolha das amostras, descritos os equipamentos utilizados na monitorização e as metodologias experimentais utilizadas.

6.1. LOCAL DE MONITORIZAÇÃO

Para a monitorização de SO₂, NO_X, CO, e O₃, os equipamentos de monitorização foram colocados numa das salas da ESTG – IPG sendo as sondas colocadas num jardim interior da escola (Figura 16). A escolha deste local deve-se essencialmente a questões logísticas, dado que em tempo útil, não foi possível a cedência de um local seguro, no centro da cidade, para a sua colocação.

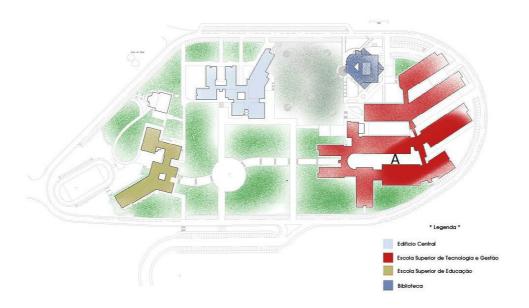


FIGURA 16 – LOCALIZAÇÃO DAS SONDAS DOS EQUIPAMENTOS DE MONITORIZAÇÃO DE POLUENTES QUÍMICOS NO CAMPUS DO IPG (A) (IPG, 2013).

Para a recolha de partículas o equipamento foi colocado, a partir do mês de junho, uma vez por mês, num dos jardins envolventes do campus do IPG (Figura 17). Inicialmente tínhamos como objetivo efetuar uma medição por mês, durante o período de monitorização, mas devido às condições climatéricas e devido ao facto do equipamento não poder apanhar chuva, só nos foi possível começar a fazer a monitorização a partir do mês de junho, inclusive. Para tentar colmatar esta situação, no mês de setembro efetuamos duas recolhas, em vez de, apenas uma.

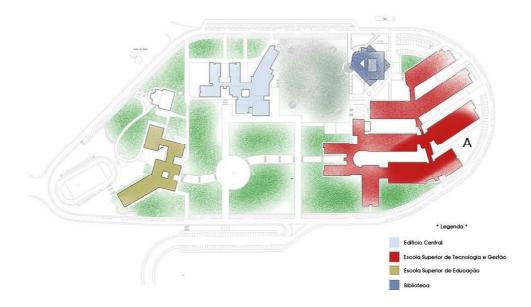


FIGURA 17 - LOCALIZAÇÃO DO CAPTADOR DE PARTÍCULAS E DA ARMADILHA DE HIRST NO CAMPUS DO IPG (A) (IPG, 2013).

Para a escolha da localização da armadilha de recolha de pólenes, de forma a condicionar o menos possível os resultados obtidos, tivemos em conta alguns fatores: a sua colocação numa superfície horizontal de fácil acesso; a distância a qualquer obstrução que impedisse o fluxo livre de ar; a localização da armadilha longe de qualquer fonte potencial de pólen e a sua altura ao solo.

Assim, o dispositivo foi colocado num dos jardins envolventes a 1,5 m do solo (Figura 18), de forma a ficar acima da vegetação rasteira. A sua localização é de fácil acesso e não tem a influência de árvores de grande porte. No entanto, como pontos negativos, tem a influência das gramíneas devido à proximidade ao solo e a obstrução parcial provocada pelo edifício da ESTG.

6.2. EQUIPAMENTO UTILIZADO

Para a monitorização do CO, NO_X, SO₂, e O₃ foram utilizados equipamentos *Environnement S.A.*, nomeadamente o Modelo CO12M (analisador de monóxido de carbono com deteção por radiação na região espectral do infravermelho), o Modelo AC32M (analisador de óxidos e dióxidos de azoto no ar ambiente com deteção por quimiluminescência), o Modelo AF22M (analisador de dióxido de enxofre com deteção por fluorescência na região do ultravioleta do espectro eletromagnético), o Modelo O342M (analisador de ozono com deteção por método fotométrico na região do ultravioleta do espectro eletromagnético) respetivamente.

O equipamento CO12M opera segundo o princípio da lei de Beer-Lambert na região do infravermelho. O espectro de absorção do CO contém um máximo para o comprimento de onda

de 4,67 µm, que corresponde ao espectro selecionado pelo filtro ótico. Dado que o espectro de absorção não é contínuo, o filtro ótico está associado a um dispositivo que permite efetuar uma medição altamente seletiva do gás a analisar, eliminando possíveis interferências de gases cuja absorção seja muito próxima ao do CO. A amostra de ar é recolhida através de uma bomba, programada para que o fluxo seja de aproximadamente 60 l/h, colocada no final do circuito e que obriga a amostra a passar pela câmara de medição. O sistema de entrada de ar encontra-se ligado à parte posterior do equipamento com um filtro em teflon que protege a entrada de poeiras, tal como ocorre para os restantes equipamentos.

A fonte emissora de radiação infravermelha é constituída por um fio resistivo, que quando é aquecido, emite radiação em diferentes bandas de comprimentos de onda. A radiação infravermelha emitida atravessa o dispositivo de correlação, o filtro ótico e a câmara de medição antes de chegar ao detetor. Durante a rotação do dispositivo de correlação, a uma velocidade de 2206 rpm, ocorre a separação do feixe de radiação infravermelha em 3 radiações que são convertidas em 3 sinais elétricos. Um sinal que corresponde à supressão total do sinal (sector opaco). O outro sinal atravessa a câmara de medição (sector de medição) e o sinal relativo à concentração conhecida de CO (sector de referência), como se pode ver pela Figura 18.

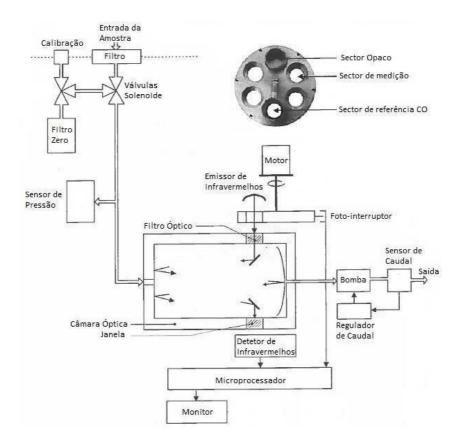


FIGURA 18 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO CO12M (ADAPTADO DE ENVIRONNEMENT S.A., 2004-A).

A quimiluminescência, método de funcionamento do equipamento AC32M, corresponde à oxidação de moléculas de NO por moléculas de O₃, como representado na reação (13). O retorno a um estado fundamental da molécula de NO₂* é feito através da emissão de radiação no comprimento de onda entre os 600 e os 1200 nm (reação 14).

$$NO + O_3 \rightarrow NO_2^* + O_2$$
 (13)

$$NO_2^* \to NO_2 + h\nu \tag{14}$$

A energia pode ser perdida através do choque com algumas moléculas presentes na amostra (quenching). De modo a que a probabilidade de choque entre as moléculas seja menor, e desta forma se obtenha um fenómeno de luminescência mais eficaz, é reduzida a pressão no interior da câmara de reação. Entre a câmara de reação e o detetor encontra-se um filtro ótico que seleciona apenas a radiação com comprimentos de onda superiores a 610 nm, eliminando assim as interferências devidas à potencial presença de hidrocarbonetos (Figura 19).

A fim de ser medido por quimiluminescência o NO₂ tem que ser transformado em NO. O molibdénio é utilizado para a redução de acordo com a reação (15).

$$2NO_2 \xrightarrow{Mo} 2NO + O_2 \tag{15}$$

A medição é realizada em três etapas. O ciclo de referência (1ª etapa), onde a amostra é introduzida na câmara de pré-reação e misturada com ozono. As moléculas de NO presentes na amostra são oxidadas a NO₂ antes de entrarem na câmara de reação. O sinal medido pelo fotomultiplicador pode ser considerado como o zero (sinal de referência). O ciclo de NO (2ª etapa), onde a amostra é diretamente levada para a câmara de medição, onde o NO é oxidado pelo ozono. O sinal medido pelo fotomultiplicador é proporcional ao número de moléculas de NO presentes na amostra. O ciclo do NO_X (3ª etapa), a amostra flui através do forno onde é misturado com ozono na câmara de reação. O sinal medido pelo fotomultiplicador é proporcional ao número de moléculas de NO e de NO₂ presentes na amostra.

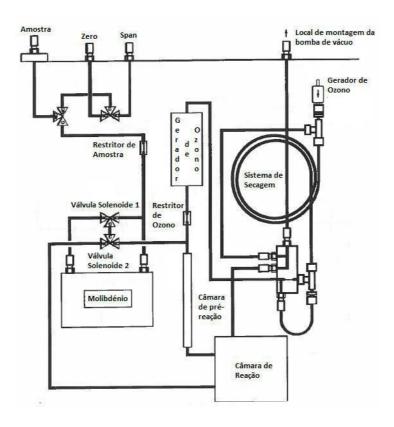


FIGURA 19 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO AC32M (ADAPTADO DE ENVIRONNEMENT S.A., 2004-B).

No seu estado fundamental a molécula de SO_2 pode absorver energia para passar para o seu estado excitado. A transição do estado energético pode ser representado pela reação (16).

$$SO_2 + h\nu \stackrel{K_f}{\to} SO_2^* \tag{16}$$

A molécula no seu estado excitado pode atingir o seu estado fundamental através de diferentes vias. Por fluorescência, a qual pode ser medida a 350 nm.

$$SO_2^* \to SO_2 + h\nu^{\prime} \tag{17}$$

Por excitação, onde M representa outra molécula gasosa, capaz de dissipar a energia (quenching).

$$SO_2^* + M \xrightarrow{K_q} SO_2 + M \tag{18}$$

Por dissociação, a energia envolvida é suficiente para quebrar a ligação do enxofre com o oxigénio.

$$SO_2^* \xrightarrow{K_d} SO + O \tag{19}$$

As constantes (K_f , K_d , e K_q) representam coeficientes associados a cada uma das vias que o SO_2 , no seu estado excitado, pode tomar para atingir o estado fundamental. De qualquer forma a energia que atinge o fotomultiplicador é diretamente proporcional à concentração de SO_2 na amostra.

A amostra é recolhida através de um tubo de Teflon, ligado à parte posterior do equipamento, e pela ação de uma bomba colocada no final do circuito. A amostra passa por um filtro para eliminação dos hidrocarbonetos e é introduzida na câmara de reação. Na câmara de reação, a amostra é irradiada com radiação a 214 nm provocando a excitação das moléculas de SO₂ presentes. Pelas vias referidas anteriormente, a molécula regressa ao seu estado fundamental gerando fluorescência que é filtrada entre os 300 e os 400 nm e posteriormente detetada pelo fotomultiplicador (Figura 20).

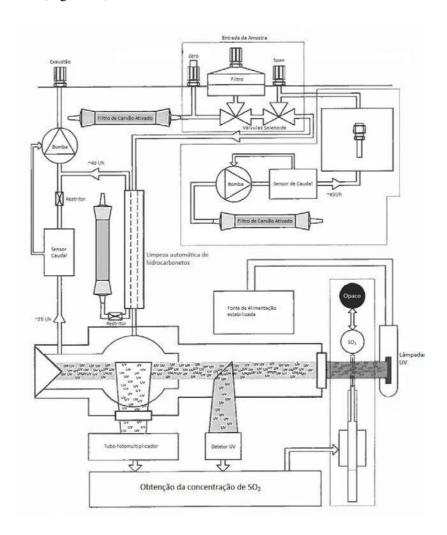


FIGURA 20 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO AF22M (ADAPTADO DE ENVIRONNEMENT S.A., 2004-C).

O espectro do ozono apresenta um pico máximo de absorção na zona dos 253 nm. Considerando a lei de Beer-Lambert e as características físicas do equipamento O342M (Figura 21) podemos dizer que a concentração de ozono pode ser obtida através da equação (20), onde i₀ representa a energia medida quando a amostra não contém ozono (passagem através de filtro seletivo), i representa a energia medida quando a amostra contém ozono (passagem direta), k é uma constante dependente do equipamento, P é a pressão e t é a temperatura.

$$[O_3] = \frac{10^6}{k} ln \left(\frac{i_0}{i}\right) \frac{P_0}{P} \frac{t}{t_0}$$
 (20)

Para evitar as variações na lâmpada de UV e para que a medição de i_o e i sejam realizadas sob as mesmas condições, o equipamento O342M, possui um detetor UV de referência que mede a energia emitida pela lâmpada UV. As medições de i_o e i são verificadas através do sinal obtido pelo detetor UV de referência, o que garante que as medições são efetuadas sob as mesmas condições. O ciclo de medição é realizado em dois ciclos distintos. Primeiro, a amostra passa por um purificador para eliminar o ozono e é ventilada para a câmara de medição (determinação de i_o). Numa segunda fase, a amostra é diretamente ventilada para a câmara de medição (determinação de i).

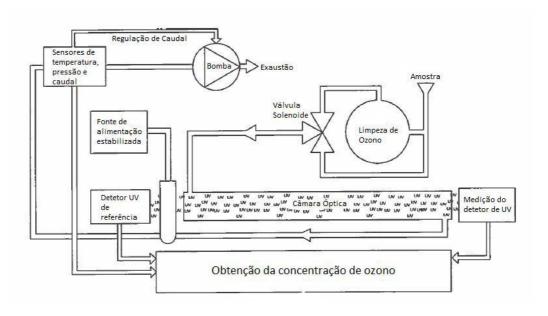


Figura 21 – Esquema representativo do funcionamento do equipamento O_342M (Adaptado de Environnement S.A., 2004-D).

Para a monitorização de partículas foi utilizado um amostrador volumétrico de partículas em cascata (ChemVol, modelo 2400). É um dispositivo de amostragem de grande volume que recolhe, simultaneamente, frações de partículas de vários tamanhos do ar ambiente. Para este

estudo foram recolhidas partículas PM_{10} , $PM_{2.5}$ e PM_1 , ou seja partículas com diâmetro igual ou superior a 10, 2,5 e 1 μ m, respetivamente.

Partículas de diferentes tamanhos são recolhidas num substrato de espuma de poliuretano. A superfície de recolha é inerte e capaz de fixar as partículas com uma dimensão específica. Estas superfícies de poliuretano proporcionam uma elevada capacidade de recolha, ao mesmo tempo que permitem uma fácil extração das partículas nelas depositadas no laboratório.

A este equipamento é associado um tripé e um o tubo que permite estabelecer a ligação entre o amostrador e uma bomba de alta capacidade. O ar ambiente entra no dispositivo de amostragem através de filtros sucessivos e sai na base. A estrutura dispõe de uma tampa no topo que protege a área de entrada da chuva, o tripé permite que o local de entrada da amostra se situe a uma distância de 1,5 a 2 m acima do nível do solo.

O motor proporciona o vácuo necessário para manter a taxa de fluxo de aproximadamente 800 L/min. Os diversos filtros são colocados em sequência, conforme se pode visualizar através da Figura 22.

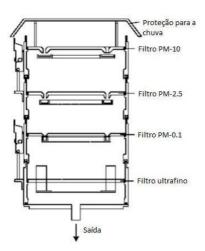


FIGURA 22 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA SEQUÊNCIA DOS FILTROS COLOCADOS NO EQUIPAMENTO DE RECOLHA DE PARTÍCULAS (ADAPTADO DE MLU, 2002).

A deteção de metais pesados foi realizada através das partículas recolhidas pelo equipamento atrás descrito, utilizando um espetrofotómetro de Absorção Atómica (GBC, modelo 906 AA), com câmara de grafite (GBC, modelo GF 3000) e com geração de hidretos (GBC, modelo HG 3000).

A Espectroscopia de Absorção Atómica por Câmara de Grafite é uma técnica muito sensível que atinge excelentes limites de deteção na determinação da concentração de metais em amostras aquosas. A câmara de grafite é um sistema atomizador eletrotérmico que pode produzir

temperaturas até aos 3000°C e assim fornece energia térmica para quebrar ligações químicas dentro da amostra e produzir átomos livres no seu estado fundamental. Estes são capazes de absorver a energia da radiação e os átomos passam ao estado excitado. A quantidade de energia absorvida varia em função da concentração do analito. Desta forma é possível determinar as concentrações de determinados metais na amostra (Chapple e Athanasopoulos, 1993).

A Figura 23 esquematiza o funcionamento de um espectrofotómetro de absorção atómica com câmara de grafite.

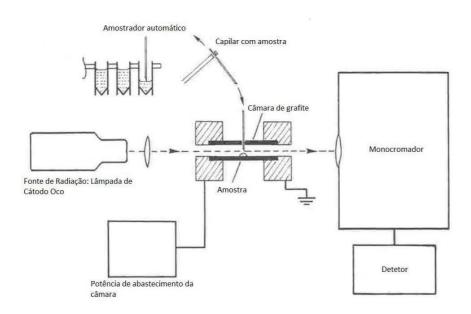


FIGURA 23 – ESQUEMA DO FUNCIONAMENTO DE UM ESPETROFOTÓMETRO DE ABSORÇÃO ATÓMICA COM CÂMARA DE GRAFITE (ADAPTADO DE CHAPPLE E ATHANASOPOULOS, 1993).

A Espectroscopia de Absorção Atómica por Geração de Hidretos aumenta a sensibilidade da técnica de absorção atómica para alguns elementos, especialmente para o Hg, As, Bi, Sb, Se, Sn e Te, muitos dos quais requerem uma monitorização dos níveis ultra-vestigiais (devido à sua importância como contaminantes ambientais).

O método de geração de hidretos, utilizado neste estudo, foi o método do borohidreto (NaBH₄) que envolve a reação do analito numa solução acidificada com boro-hidreto de sódio para formar os respetivos hidretos.

Uma vez formado, o hidreto é separado do líquido e transportado por um fluxo de gás inerte (azoto ou árgon) para um tubo de quartzo aquecido onde ocorre a decomposição térmica (Figura 24).

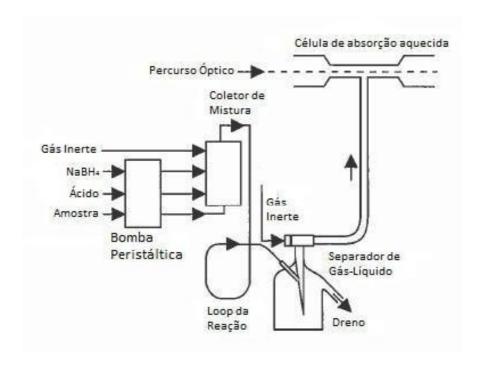


FIGURA 24 – ESQUEMA DO FUNCIONAMENTO DE UM ESPETROFOTÓMETRO DE ABSORÇÃO ATÓMICA COM GERAÇÃO DE HIDRETOS (ADAPTADO DE GBC, 1995).

Para a monitorização de pólenes foi usada uma armadilha do tipo Hirst (Burkard). Este equipamento trata-se de um captador de sucção que se baseia no princípio do impacto, com um orifício através do qual passa a amostra de ar que colide numa superfície em movimento. As vantagens deste equipamento, quando comparado com outros captadores, residem na maior eficiência de captação, autonomia de funcionamento de uma semana e controlo do volume de ar aspirado (Camacho, 2007).

O aparelho é composto essencialmente por uma bomba que aspira um fluxo de ar de aproximadamente 10 L/min. O ar entra em contacto com um tambor contendo uma fita de Melinex impregnada de solução de gelvatol. O tambor está ligado a um mecanismo de relógio que o mantém a girar a uma velocidade de 2 mm/h durante 7 dias. Findo esse tempo, o tambor é retirado e substituído por outro contendo nova fita impregnada com solução de gelvatol.

As principais especificações deste equipamento estão referidas na Tabela 10. Na Figura 25 é apresentado um esquema da armadilha (A) e da unidade de impacto (B).

TABELA 10 – ESPECIFICAÇÕES GERAIS DO EQUIPAMENTO DE HIRST.

Duração da amostragem	7 dias	
Movimento do tambor	2mm/hora	
Caudal no orifício	10 l/min	
Tamanho padrão do orifício	2 mm x 4 mm	
Impactação da fita	200	
Altura total da amostragem	94 cm	
Área de trabalho do amostrador	$0.882 \text{ m}^2 \text{ por } 53 \text{ cm de raio}$	
Requisitos de energia	220/240V 50 Hz, 110V 60 Hz	
Fornecedor de energia	12 V	
Peso líquido	16 kg	
Peso bruto	30 kg	
Dimensões da caixa	60 x 70 x 80 cm	

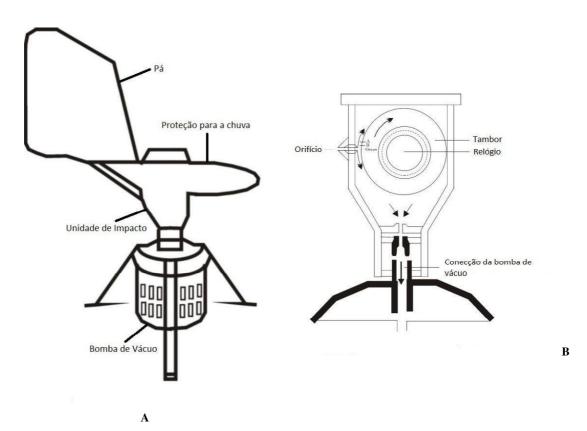


Figura 25 – Esquema da armadilha do tipo Hirst (A); Corte esquemático da unidade de impacto (B) $(\text{Adaptado de Soldevilla \it et al.}, 2007).$

6.3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

6.3.1. DETERMINAÇÃO DE SO₂, NO_X, CO, E O₃

Ao longo do período de monitorização foram realizadas algumas manutenções, previstas no manual dos equipamentos, nomeadamente a calibração e substituição dos filtros. A substituição dos filtros foi de fácil execução, pois a sua localização e desmontagem era acessível. A metodologia utilizada para calibrar os equipamentos tinha por base dois pontos. O primeiro ponto era o zero do equipamento e o segundo era um ponto de calibração com uma concentração conhecida, previamente estabelecida. Para isso, foram utilizadas garrafas de gás (Air Liquide; Código Alphagaz: 3SO04722 B10BN3; [SO₂] = 800 ppb); (Air Liquide; Lote n.º 30909500; [CO] = 45,04 ppm; [NO]= 799 ppb) que continham o analito que o equipamento monitorizava com uma concentração conhecida e uma garrafa com ar ultrapuro (Gasin; Air premier; Pureza de 99,995%) para podermos efetuar o zero do equipamento.

Em primeiro lugar ligávamos a sonda da garrafa de ar ultrapuro, no local apropriado do equipamento, e programávamo-lo para efetuar a calibração zero, ou seja, o ar que o equipamento ia analisar era o da garrafa com a informação que a mesma continha uma concentração zero do analito. Em segundo lugar efetuávamos o mesmo procedimento com a garrafa de gás com o analito, a concentração conhecida, ou seja, o equipamento analisava o gás da garrafa sabendo de antemão a sua concentração, dado que era anteriormente introduzida.

Desta forma, eram efetuados dois pontos de calibração que "balizavam" as posteriores monitorizações do equipamento. Este procedimento foi efetuado para todos os equipamentos, mensalmente, com exceção do equipamento que monitoriza o ozono pois este efetua as calibrações automaticamente.

6.3.2. Determinação de PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_1

Para garantir a inexistência de contaminação dos filtros, que afetaria os resultados da medição, estes foram previamente limpos com base nos procedimentos descritos na norma europeia EN 14902:2005 - Ambient air quality - Standard method for the measurement of Pb, Cd, As and Ni in the PM₁₀ fraction of suspended particulate matter.

LAVAGEM DOS FILTROS

Os filtros foram submersos em água ultrapura e colocados no banho de ultrassons (Fritsch – Laborrette 17) durante 30 min. Posteriormente foram submersos em metanol e colocados

novamente no banho ultrassons durante mais 30 min. Por fim, foram retirados e colocados a secar num local resguardado e isento de poeiras.

PESAGEM DOS FILTROS E CÁLCULO DA MASSA

Os filtros foram pesados antes de serem colocados em sequência no equipamento. Após a recolha, foram novamente pesados e verificada a quantidade de partículas recolhidas, conforme equação 21.

$$\Delta M_{particulas} = M_{fda} - M_{faa} \tag{21}$$

Em que, M_{fda} representa a massa do filtro depois de ser submetido ao ensaio e M_{faa} representa a massa do filtro antes de ser submetido ao ensaio.

CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DE PARTÍCULAS EM μG/M³

Tendo em conta o caudal de ar em L/min, a duração de funcionamento do equipamento (min), conseguimos obter o valor total de litros de ar aspirados pelo equipamento durante a recolha.

Assim segundo a equação 22 obtemos a concentração de partículas (µg/ m³).

$$C_{particulas} = \frac{massa\ de\ partículas\ (\mu g)}{volume\ total\ captado\ (m^3)} \tag{22}$$

6.3.3. DETERMINAÇÃO DE METAIS PESADOS

A preparação e análise da amostra foi feita através de uma adaptação da norma EN 14902:2005 - Ambient air quality - Standard method for the measurement of Pb, Cd, As and Ni in the PM_{10} fraction of suspended particulate matter.

Para a preparação da amostra foi necessário efetuar alguns procedimentos fundamentais, nomeadamente a digestão dos filtros onde ficaram retidas as partículas PM₁, PM_{2,5} e PM₁₀. Para isso, os filtros foram cortados em pequenos pedaços e colocados em 3 erlenmeyer's com tampa. De forma a garantir que os filtros ficavam completamente imersos, foram adicionados 20 ml de ácido clorídrico e 50 ml de água ultrapura em todos os erlenmeyer's, com exceção do que continha o filtro PM₁₀, no qual foram adicionados 200 ml de água ultrapura.

Seguidamente colocamos os erlenmeyer's numa manta de aquecimento (P Selecta – Agimatic - N) o tempo necessário para a digestão dos filtros e até que o volume fosse substancialmente reduzido (±50 ml). Posteriormente foi adicionado novamente 20 ml de ácido clorídrico e 100 ml de água ultrapura em todos os filtros. Seguiu-se novo aquecimento e nova redução de volume

para aproximadamente 50 ml. Deixámos arrefecer, filtramos a solução e colocámo-la em balões de 50 ml acertando o volume no final.

Posteriormente, dependendo do metal a analisar adequamos a metodologia analítica (câmara de grafite ou geração de hidretos). Para a medição de Chumbo, Níquel e Cádmio foi utilizada a câmara de grafite. Para a medição de arsénio foi utilizada a geração de hidretos.

Após a sua deteção, efetuamos os cálculos necessários para a obtenção do valor em ng/m³, de forma a podermos comparar o valor obtido com o valor legislado (equação 23).

$$[M]_{final} = \frac{[M] x V_{amostra}}{V_{ar}} x 10^3$$
(23)

Onde, $[M]_{\text{final}}$ representa a concentração final do analito, [M] representa a concentração do analito obtida no espectrofotómetro ($\mu g/L$), V_{amostra} corresponde ao volume da amostra (no nosso caso, normalmente 50 ml) e V_{ar} é a quantidade de ar aspirado pelo equipamento (m^3).

6.3.4. DETERMINAÇÃO DE PÓLENES

PREPARAÇÃO DA SOLUÇÃO

Os pólenes são captados sobre uma fita adesiva de plástico transparente (Melinex). Para a preparação da fita é utilizada uma solução com algumas características fundamentais, nomeadamente, estabilidade térmica, higroscopia e compatibilidade com a visualização dos pólenes. Esta solução pode ser preparada com ou sem corante. Neste caso utilizamos solução com corante para uma melhor visualização dos pólenes capturados.

Estão disponíveis diversas soluções para a captura de pólenes, nomeadamente, vaselina, silicone, gelatina e gelvatol (Stach, 2003). Neste projeto a solução utilizada foi à base de gelvatol.

Para preparar a solução, começámos por misturar 35g de Gelvatol (J.T. Baker) com 100 ml de água destilada e deixámos repousar. Posteriormente, adicionámos 50 ml de Glicerol (Baker) e aquecemos ligeiramente a solução num agitador magnético (P Selecta – Agimatic - N). Por fim, adicionámos 2g de fenol (J.T. Baker) e uma pequena quantidade de fucsina básica em cristais (Panreac). Misturámos bem a solução até ficar homogénea e colocou-se no frigorífico.

Todos os reagentes foram previamente pesados e medidos numa balança analítica (Mettler Toledo – PG503S) e numa proveta (Fortuna, ± 0,50 ml), respetivamente.

PREPARAÇÃO DO TAMBOR

Para a preparação do tambor, é necessário a sua colocação num suporte apropriado. Antes de colocar a fita no tambor este foi limpo com etanol a 96%. A fita de Melinex foi fixada ao tambor através da colocação de uma pequena quantidade de fita-cola dupla entre os dois traços pretos marcados lateralmente no tambor.

Com o auxílio de um pincel e de uma luva de vinil, colocámos uma pequena quantidade de gelvatol sobre a fita de modo a que a camada ficasse fina e uniforme sobre a fita de Melinex.

Por fim, deixámos secar durante alguns minutos, colocámos o tambor numa caixa apropriada, para que possa ser transportado até ao equipamento e evitar a contaminação da fita durante o transporte e armazenamento.

MONTAGEM DO TAMBOR NO DISPOSITIVO DE CAPTAÇÃO

Para a montagem do tambor, retirámo-lo da caixa e fixámo-lo no dispositivo, alinhando a ranhura vermelha (indicadora do ponto de partida da recolha) do tambor, com a seta do encaixe, indicadora da entrada do ar sugado pela bomba. Ligámos o equipamento à corrente elétrica dando assim início à captação.

Regulámos, o débito de volume de ar captado pela bomba para os 10 L/min (14,4 m³/24 horas) de ar. Este volume corresponde sensivelmente à quantidade inspirada pelo homem na mesma unidade de tempo.

RECOLHA E MONTAGEM DAS AMOSTRAS

Após sete dias a fita é substituída por uma nova, previamente preparada, tal como anteriormente referido.

A fita com a amostra é colocada novamente no suporte rotativo e é retirada com a ajuda de uma pinça, a fim de não danificar a superfície de captação, sem confundir a orientação da mesma (início-fim). Colocámos a fita sobre a régua de corte e dividimo-la em sete partes iguais, com a ajuda de um bisturi, eliminando a zona que contém a fita-cola dupla. Cada pedaço de fita corresponde a cada um dos dias da semana de medição.

É preparada uma lâmina para cada segmento da fita, utilizando a mesma solução de preparação do tambor. Inicialmente é colocada uma fina camada de solução na lâmina, posteriormente a fita, depois novamente a solução e por fim a lamela. Todo este processo tem de ser efetuado com o

máximo cuidado para não quebrar a lamela, não formar bolhas de ar sobre a fita e não danificar os pólenes captados.

CONTAGEM DOS PÓLENES

Existem três métodos de contagem de pólenes nomeadamente, leituras horizontais, verticais, e aleatórias. Nas leituras horizontais são analisadas 4 ou 5 linhas horizontais distanciadas de 2 mm. Nas leituras verticais são efetuadas 12 leituras verticais distanciadas de 2 mm. Nas leituras aleatórias são escolhidos aleatoriamente, a partir de toda a superfície da fita, 50 pontos de contagem (Frenguelli, 2003-B). A metodologia escolhida na realização deste projeto foi a leitura vertical, dado que é o único método que nos permite obter médias bi-horárias.

Após a secagem da lâmina, esta é visualizada ao microscópico ótico com a objetiva de 40x. A contagem dos pólenes é feita em colunas verticais distanciadas de 2 mm, perfazendo um total de 12 contagens, conforme Figura 26.

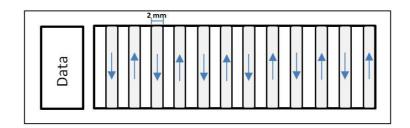


FIGURA 26 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DAS LEITURAS EFETUADAS NA LÂMINA.

Após a contagem é calculada a quantidade de pólenes por m³ de ar, através da seguinte equação:

$$Q = n \left(\frac{A_T}{V \times S_a} \right)$$

Onde, Q representa o número de grãos de pólenes por m^3 de ar, n é o número de pólenes efetivamente contados, A_T é a área total de um segmento de fita (48mm x 14 mm), V é o volume de ar aspirado pela máquina durante um dia (14,4 m^3), e S_a é a superfície analisada (representada pelo produto do número de linhas de contagem pela área de uma linha de contagem). No nosso caso, o número de linhas de contagem é 12, a área da linha de contagem, depende da linha que está a ser observada e da objetiva de imersão que está a ser utilizada (comprimento da linha x diâmetro da objetiva = 14 mm x 0.65 mm).

7. ANÁLISE DE RESULTADOS

A análise estatística dos dados recolhidos foi efetuada com o programa informático Microsoft Excel® e o programa informático IBM SPSS® (Statistical Package for Social Sciences). O SPSS é uma aplicação de tratamento estatístico de dados, que pretende combinar a análise de dados com as competências no domínio da utilização dos computadores, sem sobrecarregar o utilizador com grandes fórmulas. A grande vantagem é poder registar e analisar dados de muitas formas diferentes e com grande rapidez, permitindo que o utilizador não desperdice horas intermináveis a registar dados e a fazer cálculos, e evitando que possam surgir erros que geralmente se cometem durante estas operações. Tudo isto nos leva à possibilidade de aplicar técnicas estatísticas mais complexas e adequadas, que de outro modo não nos aventuraríamos a utilizar.

7.1. METEOROLOGIA OBSERVADA

Ao longo do período de tempo em que foi realizada a monitorização da qualidade do ar da Guarda, foi também recolhida informação sobre a meteorologia local, no endereço eletrónico do Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Os parâmetros recolhidos foram:

- Precipitação;
- Direção e velocidade do vento;
- Temperatura;
- Radiação solar e
- Humidade relativa.

Devido a problemas na Estação Meteorológica Automática (EMA) da Guarda, o Instituto Português do Mar e da Atmosfera teve alguns problemas na emissão de dados. Tentámos colmatar a falha desses dados recorrendo aos dados que a Associação de Agricultores para a Produção Integrada de Frutos de Montanha (AAPIM) gentilmente nos forneceu, dado que têm Estações Meteorológicas próprias. Contudo, não nos foi possível recolher toda a informação, pelo que os dados médios apresentados não incluem os períodos de 04/09/2013 a 23/09/2013 e de 18/11/2013 a 06/02/2014.

Pela análise da Tabela A1, constante no Anexo A, podemos verificar que a temperatura mínima teve uma média de 6,4°C e o valor mais baixo registado foi de -7,2°C, enquanto que, a temperatura máxima, foi de 35°C. É de salientar que entre a temperatura mínima registada e a temperatura máxima observa-se uma amplitude térmica de aproximadamente 42°C. O valor médio registado de radiação UV foi de 5,6, com um máximo de 11. A precipitação máxima registada foi de

76,6mm e a média da humidade relativa média foi de aproximadamente 73%. A intensidade do vento rondou em média os 4 km/h.

As temperaturas médias mensais mostram um padrão cíclico anual, com as temperaturas mais baixas nos meses de fevereiro, novembro e dezembro e as temperaturas médias mais elevadas nos meses de julho, agosto e setembro, com a temperatura média mais elevada 29°C (Figura 27).

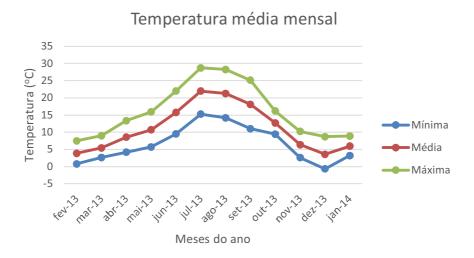


FIGURA 27 - TEMPERATURA MÉDIA MENSAL REGISTADA DURANTE O PERÍODO DE MONITORIZAÇÃO.

É de salientar que entre a temperatura mínima registada e a temperatura máxima se observou uma amplitude térmica de aproximadamente 42°C.

Pela análise da Figura 28 podemos verificar que a humidade relativa, como seria de esperar, teve um padrão inverso ao observado na temperatura. Nos meses mais quentes a humidade relativa foi mais baixa e nos meses mais frios a humidade relativa foi mais elevada. Os valores médios de humidade relativa variaram entre 50 e 90%.



FIGURA 28 - HUMIDADE RELATIVA MÉDIA MENSAL REGISTADA DURANTE O PERÍODO DE MONITORIZAÇÃO.

A precipitação ocorreu principalmente nos meses de inverno, nos quais se registam os valores mais elevados de humidade relativa. É de referir que a média mensal do mês de novembro não corresponde à realidade observada, uma vez que, não existem dados no IPMA e também não foi possível obtê-los por outra via (Figura 29).

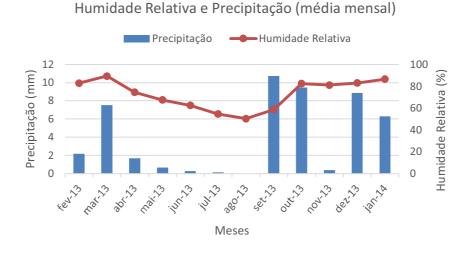


FIGURA 29 - HUMIDADE RELATIVA MÉDIA E PRECIPITAÇÃO MÉDIA REGISTADA NO PERÍODO DE MONITORIZAÇÃO.

A velocidade máxima do vento, foi relativamente mais alta nos meses de inverno do que nos meses de verão, atingindo o valor mais elevado no mês de março e o valor mais baixo no mês de julho. Já a velocidade média não teve variações significativas. Estão em falta os dados do mês de dezembro e janeiro, para os quais não foi possível obter registos (Figura 30). A direção do vento foi sobretudo do quadrante Noroeste tal como se pode observar na Figura 31.

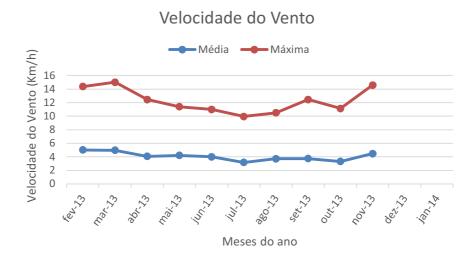


FIGURA 30 – VELOCIDADE MÉDIA E MÁXIMA MENSAL DO VENTO AO LONGO NO PERÍODO DE MONITORIZAÇÃO.



Frequência da Direcção do Vento

FIGURA 31 – FREQUÊNCIA DA DIREÇÃO DO VENTO NO PERÍODO DE MONITORIZAÇÃO (VALORES DIÁRIOS).

A caracterização meteorológica da Guarda é fundamental para a interpretação da qualidade química e biológica do ar e da sua variabilidade ao longo do ano.

7.2. POLUENTES QUÍMICOS

Pela análise da Tabela 11, podemos verificar que existe um número elevado de valores ausentes, nomeadamente para o SO₂ e CO, este facto deve-se às recorrentes falhas de energia que foram ocorrendo e que apagavam da base de dados dos equipamentos os valores neles registados.

Os poluentes com concentrações máximas mais elevadas foram o CO e o O₃, que por sua vez também foram os que apresentaram maiores variações. É de salientar ainda que as concentrações

médias diárias de todos os poluentes químicos analisados, são substancialmente inferiores aos valores-alvo legislados.

TABELA 11 - INDICADORES DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO PARA OS POLUENTES QUÍMICOS (SPSS V. 20).

	Estatísticas											
		NO	NO ₂	NO _x	SO ₂	СО	O ₃					
	Válido	311	311	311	220	139	302					
N	Ausente	0	0	0	91	172	9					
Média	a	,0884	,3093	1,8695	3,0385	205,8346	80,6429					
Media	ana	,0000	,0000	1,4792	1,5863	191,6121	80,2604					
Moda	ı	,00	,00	,64ª	1,53ª	32,40ª	35,76ª					
Erro p	oadrão	,44767	1,24155	1,27009	7,56582	112,26263	29,26063					
Variação		,200	1,541	1,613	57,242	12602,897	856,184					
Mínimo		,00	,00	,00	,01	32,40	1,39					
Máxir	mo	4,10	11,09	8,25	98,27	698,69	270,18					

a. Há várias modas. O menor valor é mostrado

No entanto, e apesar das concentrações média diárias para o SO₂ e para o O₃ serem baixas, registaram-se picos horários que por vezes ultrapassaram os valores-limite horários legalmente estabelecidos (Figura 32 - A e B).



A



 $\textbf{FIGURA 32} - \textbf{CONCENTRAÇÃO} \,\, \textbf{MÉDIA HORÁRIA PARA O SO}_{2}(\textbf{A}) \, \textbf{E PARA O O}_{3}(\textbf{B}), \, \textbf{NO PERÍODO DE MONITORIZAÇÃO}.$

В

Para o SO₂, estes picos ocorreram, de forma mais pronunciada, em apenas 4 horas nos meses de abril, maio e junho. Foi analisado o número de ocorrências de incêndios urbanos e florestais nestes 4 dias de modo a justificar os valores verificados, mas os registos existentes na proteção civil não são significativos.

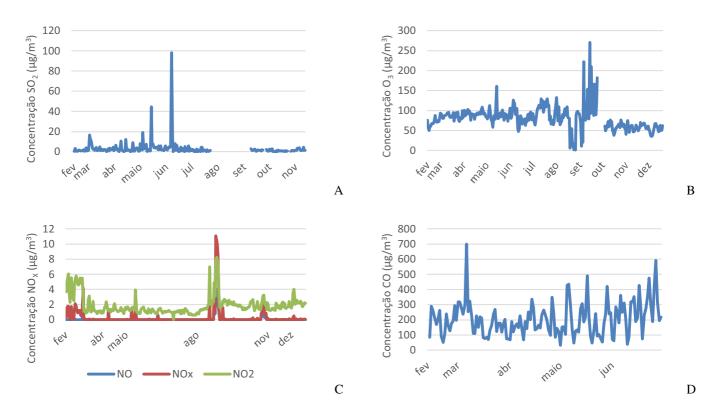
Para o O₃, o valor limite de informação foi ultrapassado em 51 horas, tendo em 40 destas horas sido ultrapassado também o valor limite de alerta (240 μg/m³). Este período de tempo corresponde essencialmente a dias do mês de maio, junho, julho, agosto e setembro, ou seja, à época mais quente do ano. No entanto o mês de setembro destaca-se relativamente aos restantes meses do ano, tal situação pode ter sido motivada pelas trovoadas que se registaram nesse período. É conhecida a ação do ozono na saúde humana e na vegetação, porém este é também um bom desinfetante natural que elimina da atmosfera bactérias, vírus, fungos e protozoários. A sua eficácia é maior quando a humidade relativa é elevada (Kammer, 2005; Beltman *et al.*, 2013).

Também no mesmo período as concentrações de óxidos de azoto registaram valores elevados (Figura 33 – C). Pensamos que através da energia envolvida nos relâmpagos poderá ter sido desencadeado o mecanismo de formação de ozono através dos óxidos de azoto. Um estudo efetuado nos Estados Unidos por Kaynak *et al.* (2008), concluiu que, para além dos relâmpagos serem uma fonte significativa de NO_X, a consequente produção de ozono varia de acordo com a intensidade do raio, ou seja, quanto maior foi a intensidade do raio, maior é a sua produção. Conclusões semelhantes foram obtidas por um estudo efetuado também nos Estados Unidos por Wang *et al.* (2013).

Outra evidência que nos leva a crer que o ozono, nesta região, é formado localmente e não transportado do litoral, tal como referido noutros estudos (Carvalho *et al.*, 2010; Monteiro *et al.*, 2012; Correia, 2007; Silva, 2008), é o resultado da análise de componentes principais.

Nesta análise, obtivemos 6 componentes principais que justificam 76,89% da variância dos dados iniciais. Com estas componentes podemos verificar que a direção e intensidade do vento são uma componente isolada, o que há partida nos leva a considerar que não há uma forte relação entre estes fatores e a concentração dos poluentes (Anexo B).

Na Figura 33 podem ser visualizadas as variações das concentrações médias diárias de cada poluente. Considerámos apenas os valores das concentrações de CO até julho de 2013, pois a partir desta data, devido a uma trovoada que provocou cortes na corrente elétrica o equipamento ficou danificado.



 $\textbf{FIGURA 33} - \textbf{C} \\ \textbf{ONCENTRAÇÕES} \\ \textbf{MÉDIAS} \\ \textbf{DIÁRIAS PARA SO}_2(A), O_3(B), \textbf{CO}(C), \textbf{NO}, \textbf{NO}_X \\ \textbf{E} \\ \textbf{NO}_2(D). \\ \textbf{DO}_2(D) \\ \textbf{DO}_3(B), \textbf{CO}(C), \textbf{NO}_3(B), \textbf{CO}(C), \textbf{CO}(C), \textbf{NO}_3(B), \textbf{CO}(C), \textbf{CO}(C), \textbf{NO}_3(B), \textbf{CO}(C), \textbf{CO$

Com base nas Figuras 33-A e 33-B podemos verificar que também nas concentrações médias horárias são percetíveis os picos de SO₂ e O₃, analisados na Figura 32.

Embora os óxidos de azoto tenham concentrações diárias abaixo do valor-alvo, houve um aumento da sua concentração no mês de agosto e setembro (Figura 33-C). Este fator pode estar

relacionado com grande número de incêndios florestais que deflagraram região da Guarda, alguns deles de grande dimensão (Anexo F).

O CO embora com algumas flutuações manteve a sua concentração, muito abaixo do valor-limite legislado (Figura 33-D). As variações ocorridas estão associadas ao período de dia-noite, tal como se pode visualizar na Figura 34. Neste caso as concentrações mais elevadas ocorrem, no geral, durante o período da noite. Situação contrária ocorreu num estudo efetuado por Moxley (1997), em que as concentrações de CO diminuíram durante a noite e aumentaram ao início da manha. Existem duas vias principais de consumo de CO, uma através da oxidação na atmosfera pelos radicais de grupos hidroxilo e outras pela oxidação através de microrganismos presentes no solo. A primeira via requer a presença de fenómenos fotoquímicos, o que pode explicar a diminuição da concentração durante o dia. Por outro lado, a queima doméstica de combustível, quer em caldeiras a gás, quer em lareiras, pode contribuir para um aumento das concentrações de CO à noite já que é ao final do dia e durante a noite que este tipo de aquecimento é mais utilizado pelas famílias. Segundo o Anuário Estatístico da Região Centro, no ano de 2010 foram consumidas na cidade da Guarda 4249 toneladas de gasóleo para aquecimento. O consumo de gás natural, também no ano de 2010, foi de 5377 milhares de m³. Temos ainda que considerar o consumo de lenha e seus derivados, para os quais não existem dados. É ainda de referir o aumento, significativo, da concentração de CO a partir do mês de julho, o qual pode estar relacionado com o início dos grandes incêndios florestais na região (Anexo F).

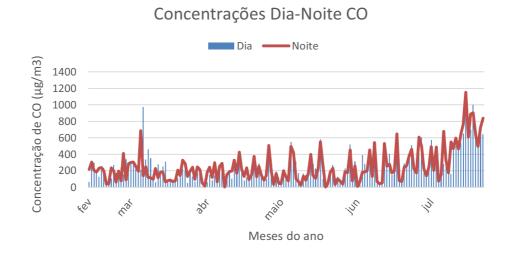


FIGURA 34 – CONCENTRAÇÕES DIA-NOITE DE CO.

Através das correlações de Pearson (Tabela 12), foram verificadas as correlações existentes entre os poluentes químicos atmosféricos e os dados meteorológicos. Embora, de forma geral, com

valores de correlação muito baixos, as concentrações de poluentes mais afetadas pelas variáveis meteorológicas são o CO e o O₃. A temperatura e o índice UV têm uma influência positiva, ao contrário da humidade e da precipitação. Podemos também salientar a influência negativa que a temperatura mínima e média exercem sobre a concentração de NO_x, a par com o índice UV. Resultados significativamente diferentes foram obtidos por um estudo efetuado em Taiwan por Wen e Yeh (2010). Neste estudo os poluentes mais afetados pelas variáveis meteorológicas foram o NO₂ e CO em que a temperatura, a velocidade do vento e o índice UV tiveram uma influência negativa, enquanto que, a humidade teve uma influência positiva.

TABELA 12 - CORRELAÇÕES DE PEARSON ENTRE A CONCENTRAÇÃO DE POLUENTES QUÍMICOS E AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS (SPSS v.20).

Correlações

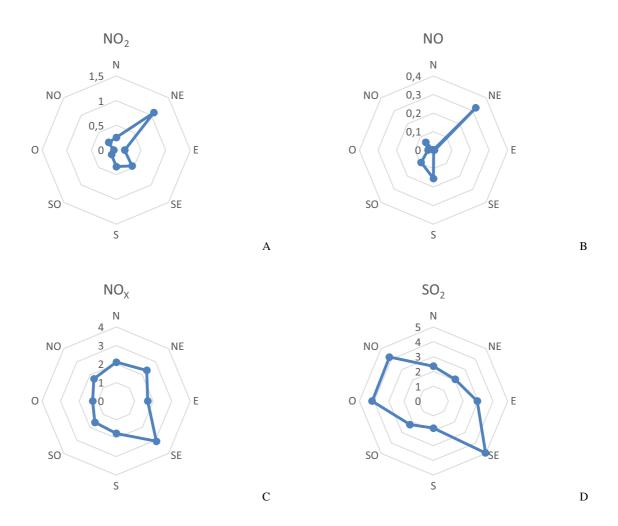
			Oorrelaçõ				
		NO	NO ₂	NO _X	SO ₂	CO	O ₃
Temperatura Mínima	Correlação de Pearson	,106	,045	-,185**	-,079	,244**	,182**
	Sig. (2 extremidades)	,063	,427	,001	,241	,004	,001
	N	311	311	311	220	139	302
Temperatura Média	Correlação de Pearson	,093	,052	-,146 ^{**}	-,075	,236**	,245**
	Sig. (2 extremidades)	,102	,365	,010	,266	,005	,000
	N	311	311	311	220	139	302
Humidade Mínima	Correlação de Pearson	-,051	-,041	,053	,022	-,191*	-,295**
	Sig. (2 extremidades)	,373	,470	,354	,750	,026	,000
	N	306	306	306	216	135	297
Humidade Média	Correlação de Pearson	-,051	-,048	-,001	,069	-,089*	-,145 ^{**,*}
	Sig. (2 extremidades)	,374	,408	,989	,316	,305	,012
	N	306	306	306	216	135	297
UV	Correlação de Pearson	,020	,004	-,210**	,000	,142	,271**
	Sig. (2 extremidades)	,737	,950	,000	,998	,098	,000
	N	278	278	278	213	137	271
Intensidade do Vento	Correlação de Pearson	-,007	-,041	-,085	,013	,043	,035
	Sig. (2 extremidades)	,912	,519	,181	,858	,619	,587
	N	251	251	251	198	135	242
Precipitação	Correlação de Pearson	,013	-,022	-,018	-,034	-,079	-,095
	Sig. (2 extremidades)	,840	,728	,778	,634	,363	,135
	N	260	260	260	199	135	251

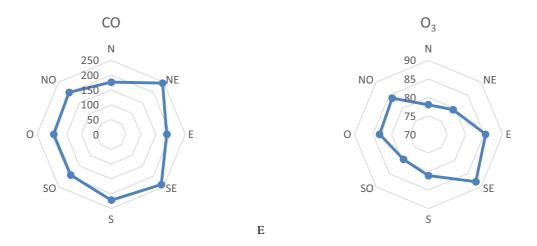
^{**.} A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

A variação da concentração dos poluentes químicos $(NO_2, NO, NO_X, SO_2, CO, O_3)$ com a direção do vento está representada da Figura 35.

^{*.} A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

Podemos verificar que para o NO₂ e NO existe uma influência significativa do quadrante de Nordeste. Este facto pode dever-se à localização das Autoestradas A23 e A25, que com ventos do quadrante Este e Nordeste, poderão arrastar os poluentes provenientes do tráfego automóvel (Figura 36). Para o NO_X a concentração média mais baixa ocorreu quando o vento soprava do quadrante Oeste e a concentração média mais alta do quadrante Sudeste. No caso do CO as concentrações mais elevadas ocorreram com os ventos do quadrante Sudeste e Nordeste. Relativamente ao O₃, as concentrações foram mais elevadas nos quadrantes Este e Sudeste e mais baixas no quadrante Norte. Para o SO₂ as concentrações foram mais elevadas nos quadrantes Sudeste, Noroeste e Oeste e mais baixas nos quadrantes Sul e Nordeste. Esta situação pode ser influenciada pelo arrastamento da poluição da zona litoral (centro e Norte) mais industrializada e também pela influência do trânsito das autoestradas A23 e A25.





 ${\bf FIGURA~35} - {\bf POLUENTES~QUÍMICOS~OBSERVADOS~SEGUNDOS~OS~QUADRANTES~DE~DIREÇÃO~DO~VENTO.}$



FIGURA 36 – LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO (A) E DAS AUTOESTRADAS A23 E A25 (GOOGLE MAPS).

A fim de se verificar a eficácia das previsões do programa de modelação CALIOPE para a região da Guarda, efetuámos uma correlação de Pearson entre os dados monitorizados e a previsão obtida através da modelação (Tabela 13). Como se pode observar as correlações obtidas são muito baixas.

F

TABELA 13 - CORRELAÇÕES DE PEARSON ENTRE A CONCENTRAÇÃO DE POLUENTES QUÍMICOS E OS VALORES PREVISTOS PELO PROGRAMA DE MODELAÇÃO CALIOPE (SPSS v.20).

Correlações

		NO ₂	SO ₂	CO	O ₃
Caliope-NO ₂	Correlação de Pearson	,009	-,047	,010	-,114 [*]
	Sig. (2 extremidades)	,879	,486	,911	,047
	N	311	220	139	302
Caliope-SO ₂	Correlação de Pearson	-,049	-,018	,029	,053
	Sig. (2 extremidades)	,385	,795	,737	,361
	N	311	220	139	302
Caliope-CO	Correlação de Pearson	-,053	-,090	,074	-,152**
	Sig. (2 extremidades)	,355	,183	,387	,008
	N	311	220	139	302
Caliope-O ₃	Correlação de Pearson	-,002	,004	,141	,102
	Sig. (2 extremidades)	,975	,958	,098	,077
	N	311	220	139	302

^{**.} A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

No caso do O₃, as previsões efetuadas pelo programa de modelação CALIOPE subestimaram a sua concentração nos meses de março, abril e maio. Nos restantes meses o valor foi sobrestimado. É de salientar que as principais diferenças observam-se nos meses de julho, agosto, e de outubro a dezembro (Figura 37-A). O modelo apresenta um baixo valor de correlação (r=0,102), embora seja o mais elevado de todos os poluentes monitorizados.

Para o SO₂, o programa subestimou as concentrações de março a junho e sobrestimou a concentração nos restantes meses. As maiores diferenças registam-se no mês de maio e junho (Figura 37-B).

Para o CO as previsões da concentração foram sempre subestimadas (Figura 37-C). Situação contrária ocorreu com o NO₂, cujos valores foram sobrestimados entre duas a seis vezes (Figura 37-D).

O estudo efetuado por Pay *et al.*, (2010), que compara a concentração de poluentes medidos na Europa com a previsão da concentração de poluentes efetuada pelo CALIOPE, chegou a conclusões semelhantes no que diz respeito ao O₃ e ao SO₂. Já em relação ao NO₂ o estudo chegou a conclusões contrárias às obtidas neste trabalho.

^{*.} A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

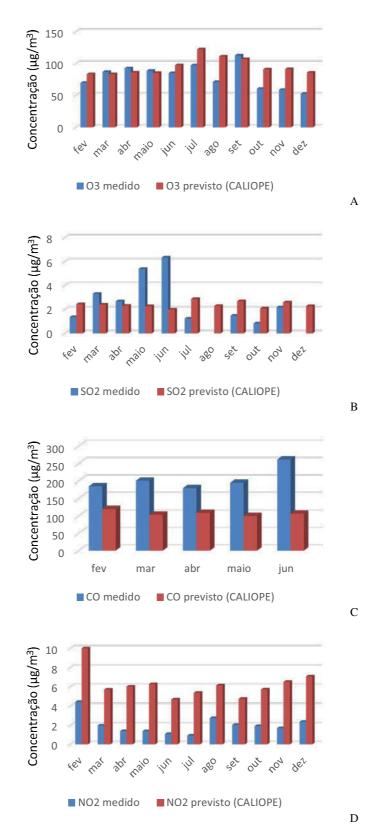


FIGURA 37 – COMPARAÇÃO ENTRE AS MÉDIAS MENSAIS OBSERVADAS E PREVISTAS PELO PROGRAMA DE MODELAÇÃO CALIOPE.

7.3. PARTÍCULAS

Como referido anteriormente, as partículas monitorizadas neste trabalho foram as PM_{10} , $PM_{2.5}$ e PM_1 . Na Tabela 14, estão indicadas as datas em que foram efetuadas as monitorizações. Estas datas também se aplicam às monitorizações indicadas para os metais pesados, dado que foi a partir das partículas recolhidas que os mesmos foram analisados.

Tabela 14 – Valores das concentrações de partículas em μ g/m³, nas monitorizações efetuadas entre junho de 2013 e janeiro de 2014.

N.º de Monitorização	1ª	2ª	3 ^a	4 ^a	5ª	6ª	7ª	8ª
Data	5 jun.	18-19 jul.	9-10 set.	23-25 set.	7-10 out.	11-13 nov.	10-12 dez.	9-10 jan.
PM_1	14	38	3	6	5	5	8	5
PM _{2.5}	23	4	7	24	6	5	10	5
PM ₁₀	45	3	16	21	10	37	12	10

Na Tabela 15 está descrita a estatística global para os diferentes tipos de partículas analisadas. As PM₁₀ foram as partículas com concentração média mais elevada. As partículas que apresentaram menos variações no valor da sua concentração, ao longo das monitorizações, foram as PM_{2.5}.

 $\begin{tabular}{ll} \textbf{Tabela 15 -} Indicadores de tendência e dispersão para partículas PM_1, $PM_{2.5}$ e PM_{10} (SPSS v. 20). \\ \hline \textbf{Estatísticas} \end{tabular}$

PM_{10} PM₁ $PM_{2.5}$ Válido 20 20 20 Ν Ausente 0 0 17,6115 Média 9,1950 9,6675 12,3500 Mediana 5,4400 6,1200 Moda 5,44 6,12 10,21 Erro padrão 10,25138 7,25174 11,98961 Variação 105,091 52,588 143,751

2,74

38,42

3,66

23,68

2,74

45,02

Pela análise da Figura 38, podemos observar que para as PM_1 , o maior valor de concentração registado foi no mês de julho. A concentração de $PM_{2.5}$ destaca-se nas monitorizações efetuadas no mês de junho e novembro. Por sua vez, as PM_{10} atingiram o máximo na medição dos dias 23 a 25 de setembro, seguindo-se a do dia 5 de junho.

Mínimo

Máximo

Concentração de partículas 50 45 Concentração (µg/m³) 40 35 30 25 ■PM1 20 ■ PM2.5 15 10 ■PM10 0 5 jun. 18-19 9-10 9-10 23-25 7-10 11-13 10-12 jul. set. out. dez. nov. jan. Data

 $\textbf{FIGURA 38} - \texttt{CONCENTRA} \\ \tilde{\texttt{CAO}} \text{ DE PARTÍCULAS (PM}_{10}, \texttt{PM}_{2,5} \\ \text{E PM}_{1}) \text{ NAS DIFERENTES MEDIÇÕES EFETUADAS.}$

Pela análise da Figura 39 podemos verificar que quando a concentração de PM_1 é baixa, a concentração de $PM_{2.5}$ e PM_{10} também é baixa.

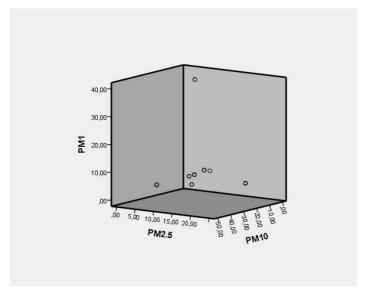


FIGURA 39 - DISPERSÃO CONJUNTA QUE RELACIONA A CONCENTRAÇÃO DAS DIFERENTES PARTÍCULAS (SPSS V.20).

Embora o valor das possíveis correlações de Pearson, entre as partículas e os poluentes químicos (Tabela 16), possa não ser estatisticamente significativa, devido ao baixo número de amostras, a concentração de PM_1 está correlacionada de forma positiva pelo ozono e de forma negativa pelo NO_X , ou seja, quando a concentração de ozono aumenta a concentração de partículas PM_1 também aumenta. O contrário acontece com o NO_X .

A concentração de PM_{2.5} está correlacionada positivamente com a concentração de SO₂ e O₃. A concentração de PM₁₀ também se correlaciona positivamente com a concentração de SO₂. Situação semelhante ocorreu na Alemanha, segundo um estudo efetuado por Nonnemacher *et al*. (2014), todos os poluentes estão correlacionados positivamente com as diferentes partículas, à exceção do O₃. As correlações mais significativas ocorreram também com o SO₂.

TABELA 16 - CORRELAÇÕES DE PEARSON ENTRE A CONCENTRAÇÃO DAS DIFERENTES PARTÍCULAS E DOS POLUENTES QUÍMICOS (SPSS v.20).

Correlações

		NO	NO ₂	NO _X	SO ₂	CO	O ₃
PM ₁	Correlação de Pearson	a	-,217	-,707**	-,047	a	,410
	Sig. (2 extremidades)		,386	,001	,884		,102
	N	18	18	18	12	1	17
PM _{2.5}	Correlação de Pearson	a	-,229	-,095	,591 [*]	.a	,685 ^{**}
	Sig. (2 extremidades)		,362	,707	,043		,002
	N	18	18	18	12	1	17
PM ₁₀	Correlação de Pearson	a	,234	-,083	,605*	.a	-,058
	Sig. (2 extremidades)		,350	,742	,037		,826
	N	18	18	18	12	1	17

^{**.} A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

Apesar do número de ensaios realizados ser relativamente baixo, e pouco significativo em termos estatísticos, verificamos que existe uma tendência que relaciona algumas variáveis meteorológicas com as partículas PM₁, PM_{2.5} e PM₁₀ (Tabela 17). Assim, a temperatura e o índice UV parecem exercer uma influência positiva sobre as PM₁. Pelo contrário a humidade relativa mínima parece estar correlacionada negativamente com as PM₁. Comportamento semelhante se verifica com as PM_{2.5}. Pelo contrário, as PM₁₀ apresentam uma correlação negativa com a temperatura, o índice UV e a precipitação.

O facto de as partículas de maior dimensão serem mais afetadas pelas variáveis meteorológicas (Paretaki *et al.*, 2012; Spindler *et al.*, 2010) ajuda-nos a explicar o facto das PM₁₀ terem um valor de correlação, no que diz respeito à intensidade do vento e à precipitação, superior às PM₁ e PM_{2.5}.

^{*.} A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

a. Não é possível calcular porque pelo menos uma das variáveis é constante.

TABELA 17 - CORRELAÇÕES DE PEARSON ENTRE A CONCENTRAÇÃO DAS DIFERENTES PARTÍCULAS E AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS (SPSS v.20).

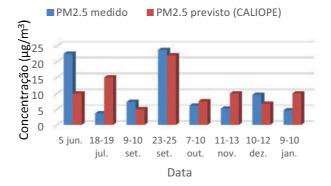
Correlações

		Temperatura Mínima	Temperatura Média	Humidade Mínima	Humidade Média	UV	Intensidade do Vento	Precipitação
PM1	Correlação de Pearson	,503 [*]	,435 [*]	-,493 [*]	-,158	,638**	-,004	-,088
	Sig. (2 extremidades)	,024	,055	,027	,506	,008	,991	,774
	N	20	20	20	20	16	12	13
PM2.5	Correlação de Pearson	,194	,224	-,076	-,008	,078	,028	-,057
	Sig. (2 extremidades)	,412	,342	,751	,974	,774	,931	,853
	N	20	20	20	20	16	12	13
PM10	Correlação de Pearson	-,092	-,153	,419	,219	-,227	,584 [*]	-,136
	Sig. (2 extremidades)	,699	,519	,066	,354	,398	,046	,658
	N	20	20	20	20	16	12	13

^{*.} A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

Quando comparamos as previsões do programa CALIOPE com os dados obtidos, para as PM_{2.5} e PM₁₀, verificamos que não existe uma tendência de sub ou sobrestimação. Nas monitorizações de junho, setembro e dezembro o modelo subestimou a concentração e nas restantes aconteceu o contrário. No entanto, conseguimos verificar que o modelo acompanhou, quase sempre, as subidas e descidas da concentração ao longo do período em que foi realizada a monitorização (Figura 40-A).

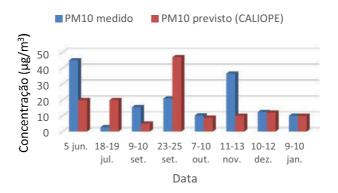
Já para as PM₁₀, existiu uma tendência de subestimação em 5 monitorizações. Na monitorização de janeiro, o valor observado e previsto foi praticamente igual (Figura 40-B).



A

^{**.} A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

c. Não é possível calcular porque pelo menos uma das variáveis é constante.



В

FIGURA 40 – COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DAS PARTÍCULAS EFETIVAMENTE OBSERVADAS COM OS RESULTADOS DAS PREVISÕES DO PROGRAMA DE MODELAÇÃO CALIOPE: A - PM_{2.5}; B - PM₁₀.

De uma forma geral, e analisando as médias anuais observadas neste estudo e as previstas pelo CALIOPE, verificamos que para as $PM_{2.5}$ a concentração efetivamente obtida (10,33 μ g/m³) foi muito próxima da prevista (10,78 μ g/m³). Já para as PM_{10} as diferenças são mais significativas, existindo uma subestimação entre a concentração obtida (19,2 μ g/m³) e a prevista (16,6 μ g/m³).

7.4. METAIS PESADOS

Com os filtros utilizados para a recolha das partículas, tal como descrito no capítulo anterior, foram determinadas as concentrações de metais pesados, níquel, cádmio, chumbo e arsénio presentes nas partículas PM₁₀, PM_{2.5} e PM₁. Não foi analisada a concentração de arsénio na primeira medição.

De acordo com as Tabelas constantes no Anexo C, podemos verificar que a concentração média de chumbo foi mais elevada nas PM_{10} . O mesmo se verificou para o cádmio e o arsénio. A concentração de níquel determinada para as $PM_{2.5}$ e PM_{10} foi muito semelhante, atingindo o valor mais baixo nas PM_1 .

Tendo em consideração os valores alvo legislados, as concentrações de níquel, cádmio, chumbo e arsénio apresentam valores inferiores aos valores limite estipulados nas normativas legais europeias (Tabela 18).

Para o elemento chumbo, o valor alvo definido (0,5 μg/m³) é muito elevado quando comparado não apenas com o valor alvo dos outros metais pesados, mas também com a concentração deste metal observada em diversos estudos. Em 2010, a concentração de chumbo em Bagdad, uma zona com elevado número de ataques bombistas, segundo um estudo efetuado por Aenab *et al.* (2013)

atingiu o valor máximo de 40 μg/m³. Na cidade de Ontário, em 2010, foi medida a concentração de chumbo através das partículas PM_{2.5} em dois locais distintos (Cakmak *et al.*, 2014). A média da concentração de chumbo foi de 5,96 ng/m³ junto a fábrica de aço e de 1,31 ng/m³ junto a uma escola.

Este elemento apresenta uma tendência, ao longo das últimas décadas, para diminuir a sua concentração na atmosfera devido ao facto da gasolina atualmente usada não ser aditivada com chumbo. Um estudo efetuado na Grécia por Anagnostopoulou e Day (2006), verificou que a concentração de chumbo diminuiu cerca de 55%, quando comparada com a concentração obtida num estudo semelhante efetuado em 1997. Também na China se verificou uma diminuição progressiva da concentração de chumbo, após a sua remoção da gasolina em 2000 (Xu *et al.*, 2012).

Tendo em conta estes factos, pensamos que o valor alvo do chumbo poderia ser revisto de modo a ajustar-se à nova realidade, permitindo desta forma um processo de melhoria contínua da qualidade do ar.

Tabela 18 – Concentrações dos metais pesados medidos em ng/m³, nas monitorizações efetuadas entre junho de 2013 e janeiro de 2014.

		5 jun.	18-19 jul.	9-10 set.	23-25 set.	7-10 out.	11-13 nov.	10-12 dez.	9-10 jan.	Valor – alvo
	PM ₁	1,24	0,32	0,46	1,03	0,93	1,26	0,31	0,83	_
Chumbo (ng/m³)	PM _{2,5}	1,06	0,41	0,48	0,48	0,93	0,97	0,13	0,26	500
(8)	PM ₁₀	1,83	0,50	0,75	0,30	1,64	1,81	0,12	0,24	
	PM ₁	9,67	2,40	2,28	0,14	0,66	0,35	1,29	0,99	
Níquel (ng/m³)	PM _{2,5}	3,46	1,70	3,19	0,21	5,05	0,66	1,21	0,51	20
() /	PM ₁₀	3,93	5,73	7,04	2,85	0,26	0,60	1,18	0,97	
	PM ₁	0,05	0,04	0,13	0,30	0,01	0,01	0,05	0,03	
Cádmio (ng/m³)	PM _{2,5}	0,11	0,01	0,11	0,07	0,01	0,004	0,01	0,01	5
() /	PM ₁₀	1,33	0,03	0,33	0,20	0,01	0,02	0,01	0,02	
	PM ₁		0,14	0,65	0,44	0,31	0,38	0,28	0,29	
Arsénio (ng/m³)	PM _{2,5}		0,14	0,74	0,82	0,38	0,16	0,28	0,26	6
(lig/iii)	PM ₁₀		0,07	1,27	0,82	0,49	0,25	0,32	0,26	

Pela análise da Figura 41-A, podemos observar que as concentrações mais elevadas de chumbo ocorreram nas monitorizações efetuadas em junho, outubro e novembro, estando os valores mais elevados associados às PM_{10} . Os valores mais baixos registaram-se em dezembro.

O valor mais elevado de níquel ocorreu nas PM₁, em junho. De forma geral, as monitorizações com concentrações foram diminuindo ao longo do tempo (Figura 41-B). É de salientar que as concentrações mais elevadas ocorreram nos meses mais quentes. Altura do ano em que predomina o tempo com escassa precipitação.

Para o cádmio (Figura 41-C), não existe nenhuma tendência definida, e na maioria dos meses a sua concentração foi muito próxima de zero. O valor mais elevado registou-se em junho, para as PM₁₀.

De setembro em diante, a concentração de arsénio foi diminuindo, progressivamente. A monitorização efetuada no mês de julho foi a que obteve um valor mais reduzido de arsénio (Figura 41-D).

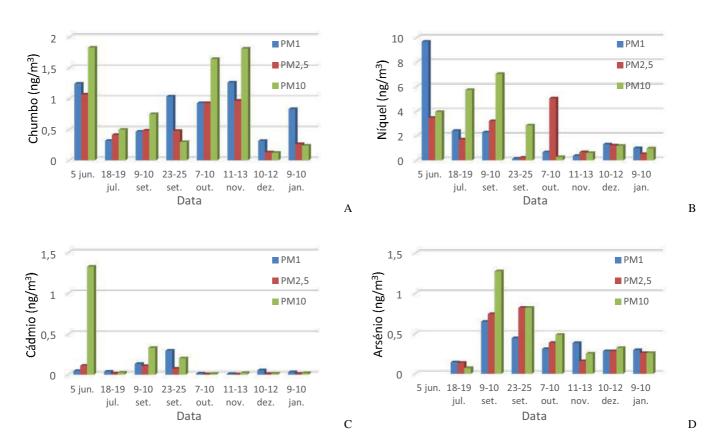


FIGURA 41 – CONCENTRAÇÃO DOS METAIS EM ng/m³, CHUMBO (A), NÍQUEL (B), CÁDMIO (C), ARSÉNIO (D), NAS MONITORIZAÇÕES EFETUADAS ENTRE JUNHO DE 2013 E JANEIRO DE 2014.

De forma geral, o poluente com concentrações mais elevadas é o níquel, tendo os outros poluentes valores muito próximos entre si. Um estudo efetuado em 5 cidades espanholas, detetou uma variação elevada da concentração de níquel entre as várias cidades. Tal facto foi justificado pelas indústrias existentes nalgumas cidades, nomeadamente indústrias de cerâmica, aço inox, tijolos,

refinarias e transportes marítimos (Moreno *et al.*, 2010). As indústrias ligadas ao sector automóvel como cablagens e outros componentes para automóveis, presentes na região da Guarda, podem ajudar a justificar os valores mais elevados de níquel. Não é também de excluir o transporte deste tipo de poluentes de outras zonas de Portugal e de Espanha.

A análise de dispersão conjunta de cada metal pesado, em cada tipo de partículas, pode ser analisada na Figura 42. A concentração de chumbo varia de acordo com as PM₁, permanecendo com concentrações baixas nas PM_{2.5} e PM₁₀. Situação semelhante ocorre com os outros metais pesados. Este facto pode justificar-se devido às partículas de menor dimensão terem um tempo de residência na atmosfera mais elevado e serem assim mais afetadas pelo transporte de longa distância (Pateraki *et al.*, 2012; Spindler *et al.*, 2010) Desta forma, as concentrações de metais detetadas nas PM₁, são essencialmente transportadas de outros locais.

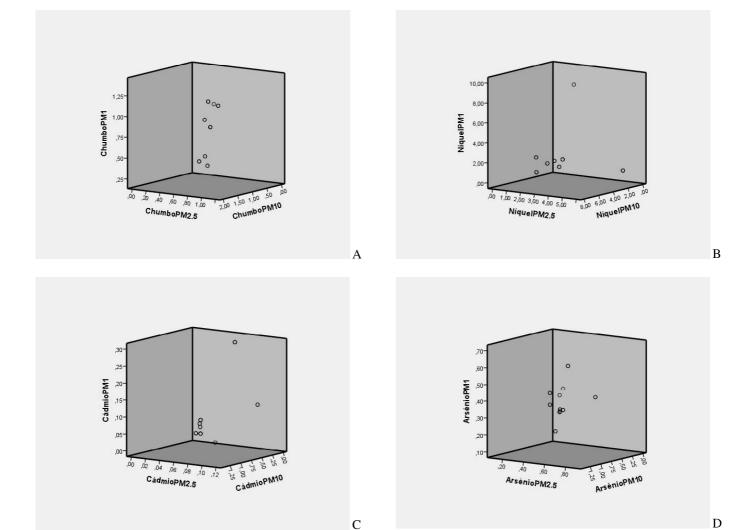


FIGURA 42 - DISPERSÃO CONJUNTA QUE RELACIONA A CONCENTRAÇÃO DE CHUMBO (A), NÍQUEL (B), CÁDMIO (C), ARSÉNIO (D) NAS DIFERENTES PARTÍCULAS (SPSS V.20).

A Tabela constante no Anexo D, correlaciona, entre si, a concentração de cada metal pesado determinado em cada uma das partículas (PM₁, PM_{2.5}e PM₁₀). Apesar do baixo número de ensaios efetuados, e a consequente limitação em termos da validade estatística, podemos verificar que as principais correlações de pearson são positivas entre a concentração de arsénio, e a concentração de níquel e cádmio. Já as principais correlações negativas ocorrem entre a concentração de cádmio e a concentração de chumbo e níquel.

Dado que as fontes de emissão como, o tráfego automóvel, as emissões industriais, a queima de resíduos e a queima de combustíveis são comuns à maioria dos metais pesados é normal que quando a concentração de um metal aumente a dos outros a acompanhem. É de salientar que na Guarda as fontes poluentes mais significativas são o tráfego automóvel, pela proximidade das autoestradas A23 e A25, e a queima de combustíveis fósseis utilizado no aquecimento doméstico e nas empresas.

No que diz respeito às correlações entre os metais pesados presentes nas partículas analisadas e os poluentes químicos monitorizados, podemos observar, pela análise da tabela constante no Anexo E, que o NO₂ está correlacionado positivamente com o chumbo e negativamente com o níquel, cádmio e arsénio. Situação contrária ocorre com o SO₂ e com o O₃, dado que estão correlacionados positivamente com o níquel, cádmio e arsénio. Tendo em consideração que a emissão de NO₂, assim como o chumbo, estão associados ao tráfego automóvel, é natural que exista uma correlação mais forte e positiva entre os dois poluentes. Por outro lado, a combustão de combustíveis fósseis, nomeadamente carvão e biomassa, está fortemente associada à emissão de SO₂ e de metais como o níquel e o cádmio, o que pode ajudar a justificar a correlação positiva entre estes poluentes. No caso do O₃, a situação é mais complexa, dado tratar-se de um poluente secundário, o qual é destruído pela presença de monóxido de azoto durante o dia, mas formado durante a noite na presença de radicais de dióxido de azoto.

As variáveis meteorológicas parecem não influenciar de forma significativa a concentração de metais presentes nas partículas PM₁₀, PM_{2.5} e PM₁, conforme se pode constatar na Tabela 19 e 20.

Tabela 19 – Correlações de Pearson entre as concentrações de metais pesados e as variáveis meteorológicas (SPSS v.20).

Correlações

		Direção do	Temperatura	Temperatura	Humidade	Humidade		Intensidade
		Vento	Mínima	Média	Mínima	Média	UV	do Vento
Chumbo PM1	Correlação de Pearson	-,060	,150	-,031	,435	,225	-,125	,314
	Sig. (2 extremidades)	,839	,529	,895	,055	,341	,645	,320
Chumbo PM2.5	N Correlação de Pearson	14 -,126	20 ,388	20 ,183	20 ,216	20 -,049	16 ,109	12 -,012
	Sig. (2 extremidades)	,668	,091	,441	,360	,836	,687	,971
Chumbo PM10	N Correlação de Pearson	14 -,152	20 ,249	20 ,045	20 ,276	20 -,087	16 ,006	,010
	Sig. (2 extremidades)	,605	,290	,852	,238	,717	,983	,975
	N	14	20	20	20	20	16	12
Níquel PM1	Correlação de Pearson	,382	,181	,235	-,386	-,590 ^{**,*}	,478	-,031
	Sig. (2 extremidades)	,178	,446	,320	,093	,006	,061	,924
Níquel PM2.5	N Correlação de Pearson	14 -,262	20 ,321	20 ,259	20 -,242	20 -,577**	16 ,279	12 -,679*
	Sig. (2 extremidades)	,365	,167	,270	,304	,008	,295	,015
Níquel PM10	N Correlação de Pearson	,303	20 ,396	20 ,728**	20 -,781**	20 -,080**	16 ,746**	12 ,097
	Sig. (2 extremidades)	,293	,084	,000	,000	,737	,001	,765
Cádmio PM1	N Correlação de Pearson	14 ,152	20 ,235	20 ,412	20 -,243	20 ,277	16 ,237	,068
	Sig. (2 extremidades)	,603	,318	,071	,303	,236	,376	,833
Cádmio PM2.5	N Correlação de Pearson	14 ,239	20 ,245	20 ,557*	20 -,505 [*]	20 -,142*	16 ,465	,005
	Sig. (2 extremidades)	,411	,298	,011	,023	,549	,069	,989,
Cádmio PM10	N Correlação de Pearson	14 ,347	20 ,220	20 ,319	20 -,318	20 -,429	16 ,408	,030
	Sig. (2 extremidades)	,224	,351	,171	,171	,059	,117	,927
Arsénio PM1	N Correlação de Pearson	14 -,035	20 -,066	20 ,252	20 -,103	20 ,256	16 -,015	12 ,234
	Sig. (2 extremidades)	,911	,790	,297	,674	,290	,957	,489
	N	13	19	19	19	19	15	11

^{**.} A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

^{*.} A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

TABELA 20 - CORRELAÇÕES DE PEARSON ENTRE AS CONCENTRAÇÕES DE METAIS PESADOS E AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS (SPSS V.20) (CONTINUAÇÃO).

Correlações

		Direção do Vento	Temperatura Mínima	Temperatura Média	Humidade Mínima	Humidade Média	UV	Intensidade do Vento
Arsénio PM2.5	Correlação de Pearson	-,032	,154	,462 [*]	-,346	,090	,208	,017
	Sig. (2 extremidades)	,917	,528	,047	,146	,715	,457	,960
	N	13	19	19	19	19	15	11
Arsénio PM10	Correlação de Pearson	-,043	,083	,449	-,376	,026	,203	-,059
	Sig. (2 extremidades)	,888,	,736	,054	,113	,915	,468	,862
	N	13	19	19	19	19	15	11

^{**.} A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

7.5. PÓLENES

A concentração média de grãos de pólenes (n.º de pólenes/m³) foi de 16,7, registada durante o período de monitorização (28/01/2013 a 03/02/2014). A análise de fungos foi efetuada tendo apenas em consideração a sua deteção, ou não, aquando da contagem dos pólenes. Em cerca de 80% dos dias não foram detetados fungos no ar.

O período de maior concentração de pólen registou-se entre o mês de abril e o mês de julho. Entre estes, o mês de abril foi aquele onde se registaram as concentrações mais elevadas, com uma concentração média de 88,7 pólenes/m³ (Figura 43). Esta situação era esperada, dado que o período de polinização da maioria das plantas ocorre na primavera. O pico máximo atingiu cerca de 500 grãos de pólen/m³ o que, segundo o índice político da RPA, representa uma situação de risco para o desenvolvimento de reações alérgicas.



FIGURA 43 – VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE PÓLENES AO LONGO DO PERÍODO DE MONITORIZAÇÃO (JAN. 2013 A FEV. 2014).

^{*.} A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

No período em que foi realizado o estudo, os pólenes mais frequentemente encontrados pertencem à família dos Carvalhos (26,82%), dos Pinheiros (23,52%), das Gramíneas (12,08%) e dos Ciprestes (8,48%), como se pode constatar pela Tabela 21.

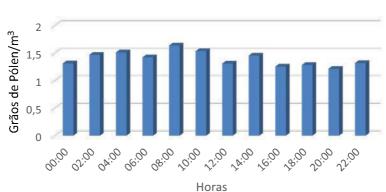
TABELA 21 – CONCENTRAÇÃO DE PÓLEN E PERCENTAGEM DAS DIFERENTES FAMÍLIAS POR ORDEM DECRESCENTE.

Família/gênero (nome comum)	Total de grãos de polén/m ³	%
Fagaceae Quercus (Carvalho)	56,185	26,82%
Pinaceae (Pinheiro)	49,275	23,52%
Poaceae (Gramíneas)	25,310	12,08%
Cupressaceae (Cipreste)	17,763	8,48%
Urticaceae (Urtiga)	15,281	7,30%
Apiaceae (Umbelífera)	13,916	6,64%
Oleaceae (Oliveira)	12,245	5,85%
Polygonaceae (Azeda)	8,436	4,03%
Platanaceae (Plátano)	2,955	1,41%
Betulaceae (Bétula)	2,899	1,38%
Fagaceae castanea (Castanheiro)	2,201	1,05%
Plantaginaceae (Tanchagem)	1,224	0,58%
Compositae (Artemísia)	0,953	0,45%
Chenopodiaceae (Quenopódio)	0,504	0,24%
Myrtaceae (Eucalipto)	0,139	0,07%
Fagaceae Quercus rotundifolia Lam. (Azinheira)	0,121	0,06%
Fagaceae Quercus suber L. (Sobreiro)	0,043	0,02%
Palmae (Palmeira)	0,014	0,01%
Salicaceae (Salgueiro)	0,000	0,00%

A Figura 44 evidencia que na contagem média do número de grãos de pólen por m³, no período bi-horário, não se registam alterações significativas, ou seja, a concentração de pólen mantinhase mais ou menos constante ao longo do dia. De qualquer forma, a concentração de pólenes era um pouco mais elevada durante o dia do que durante a noite. As horas em que a concentração média de pólenes foi mais elevada foi entre as 8:00 e as 10:00 com 1,64 grãos de pólen/m³ e as horas em que a concentração foi mais baixa foi entre as 20:00 e as 22:00 com 1,21 grãos de pólen/m³. Resultados semelhantes foram obtidos por um estudo efetuado em Istambul por Zemmer *et al.* (2012) em que a concentração de pólen obteve um pico às 12 horas. Também na cidade do Kansas a concentração de pólen mais baixa ocorre às 6:00 e o pico de maior concentração ocorre às 12:00 (Barnes *et al.*, 2001). Estudo semelhante, efetuado no Porto por Ribeiro e Abreu (2014) analisou a concentração horária de pólenes em diferentes espécies. Comparando algumas das espécies analisadas com as espécies mais significativas do nosso

estudo, nomeadamente carvalho, pinheiro, gramíneas e cipreste, podemos concluir que os resultados obtidos no Porto são semelhantes aos obtidos na Guarda, com as maiores concentrações a surgirem entre as 9 e as 11 horas.

É ainda de referir que o ciclo diurno de polinização varia de espécie para espécie e até de local para local (Laaidi, 2000). Num trabalho futuro seria interessante analisar os ciclos de polinização para a região de modo a aconselhar a população acerca das melhores horas para estar ao ar livre, ou até arejar as suas casas.



Variação bi-horária da concentração média de pólen

FIGURA 44 – VARIAÇÃO BI-HORÁRIA DA CONCENTRAÇÃO DE PÓLEN NO PERÍODO DE ESTUDO (JAN. 2013 A FEV. 2014).

Da análise da distribuição efetuada para algumas variáveis meteorológicas, verifica-se que a concentração de pólenes foi mais elevada quando a precipitação atingiu valores baixos e a intensidade do vento é mais moderada (Figura 45). A precipitação aumenta a sedimentação dos pólenes no solo, enquanto que o vento promove a sua distribuição na atmosfera.

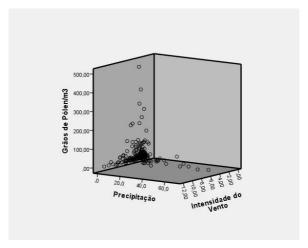


FIGURA 45 – DISPERSÃO CONJUNTA QUE RELACIONA O NÚMERO DE GRÃOS DE PÓLEN/M³, A PRECIPITAÇÃO E A INTENSIDADE DO VENTO (SPSS V.20).

Embora os coeficientes de correlação tenham valores bastantes baixos, sugerem que as variáveis com maior influência são a temperatura, humidade relativa, radiação UV e precipitação. A temperatura e a radiação UV exercem um efeito positivo no aumento da concentração de pólenes ao invés da humidade e da precipitação (Tabela 22). Neste caso, e ao contrário do que é verificado na figura anterior, a intensidade do vento tem uma correlação negativa muito baixa com a concentração de pólenes. Este facto, pode dever-se ao vento moderado que se faz sentir no mês de abril e maio, com o início da primavera, e que corresponde ao período de maior concentração de pólen potenciando assim uma baixa correlação entre as duas variáveis.

TABELA 22 – CORRELAÇÕES DE PEARSON ENTRE A CONCENTRAÇÃO DE PÓLENES E AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS (SPSS v.20).

Correlações Temperatura Temperatura Humidade Humidade Intensidade IJV Precipitação Mínima Média Média Mínima do Vento Correlação de 0.081 ,125 -,152^{*} -,027 226 -0.064 -,130^{*} Pearson Grãos de Sig. (2 0,119 0,016 0,003 0,605 0 0,297 0,022 Pólen/m3 extremidades) 372 372 367 367 294 266 312

Se considerarmos a concentração total de pólenes e a direção do vento, o quadrante Noroeste é o que mais influência a sua contagem, provavelmente porque é deste quadrante que o vento mais vezes sopra nesta região (Figura 46). Por outro lado, se considerarmos os valores médios obtidos em cada quadrante, aquele que atinge maior valor é o quadrante Norte. É na região Noroeste que se encontra uma área considerável de castanheiros, este facto pode condicionar a concentração de pólenes quando o vento sopra desse quadrante.

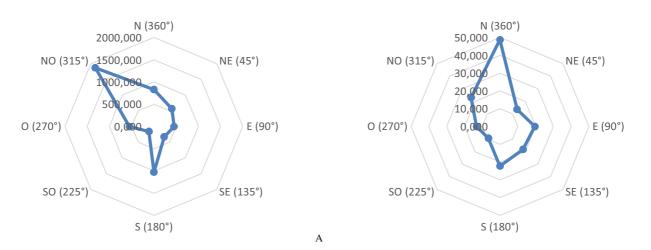


FIGURA 46 – NÚMERO TOTAL DE PÓLENES SEGUNDO OS QUADRANTES DE DIREÇÃO DO VENTO (A); CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE PÓLENES SEGUNDO OS QUADRANTES DE DIREÇÃO DO VENTO (B).

Páginal85

В

^{**.} A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

^{*.} A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

A conversão dos quadrantes do vento em ângulos segundo as correspondências ilustradas na Figura 47 permitiu, interpretar o coeficiente de correlação de Pearson. Dado que este coeficiente varia entre -1 e 1, o valor de 0,086 representa uma associação muito baixa. De qualquer forma a pequena associação que possa existir influencia positivamente a concentração de pólenes (Tabela 23).

TABELA 23 - CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE A CONCENTRAÇÃO DE PÓLENES E A DIREÇÃO DO VENTO (SPSS V.20).

	Correlações	_
		Direção do Vento
Grãos de Pólen/m³	Correlação de Pearson	,086
	Sig. (2 extremidades)	,145
	N	286

As Figuras 47, 48 e 49, que representam a concentração de pólenes por família no período de monitorização, permitem observar que os picos de concentração observados estão de acordo com a previsão do calendário polínico para esta região, que se apresenta na Figura 13 do Capítulo "Situação Geográfica e Características Geoclimáticas da Região da Guarda". Das espécies de pólen representadas a única que nunca foi detetada foi o *Salicaceae*.

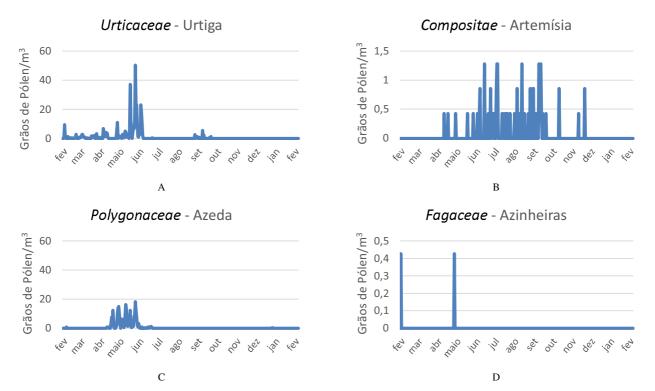


FIGURA 47 – CONCENTRAÇÃO DE PÓLENES POR FAMÍLIA, AO LONGO DO PERÍODO DE MONITORIZAÇÃO.

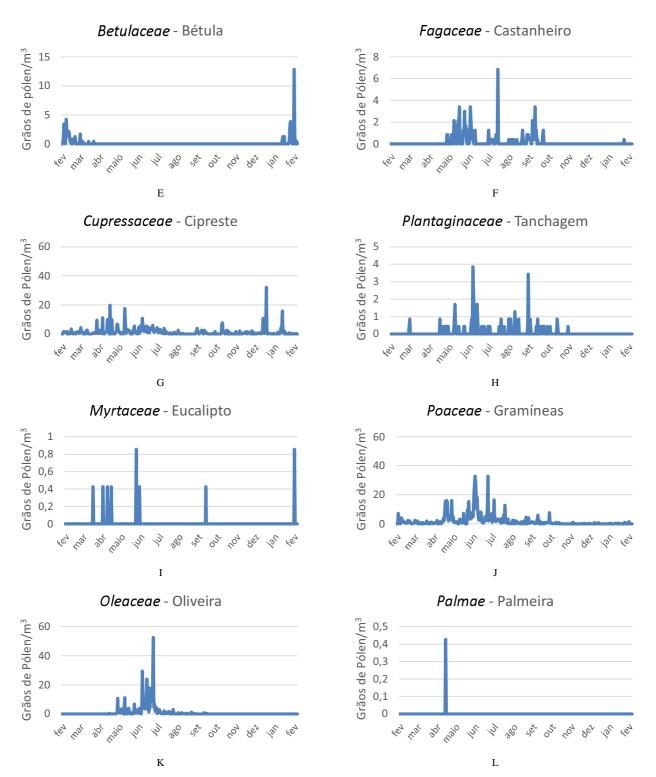


FIGURA 48 - CONCENTRAÇÃO DE PÓLENES POR FAMÍLIA, AO LONGO DO PERÍODO DE MONITORIZAÇÃO (CONTINUAÇÃO).

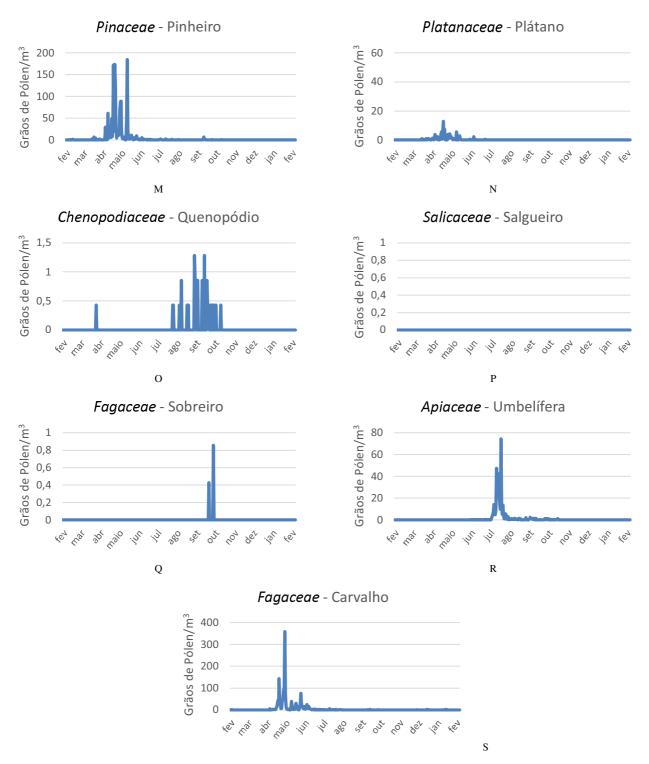


FIGURA 49 - CONCENTRAÇÃO DE PÓLENES POR FAMÍLIA, AO LONGO DO PERÍODO DE MONITORIZAÇÃO (CONTINUAÇÃO).

Com base nos dados recolhidos, ao longo deste ano de estudo, construímos um calendário polínico adaptado à região da Guarda (Figura 50). A realização do estudo por um período mais longo pode

permitir uma confirmação dos resultados aqui expostos. O qual poderá ser efetuado nos próximos anos.

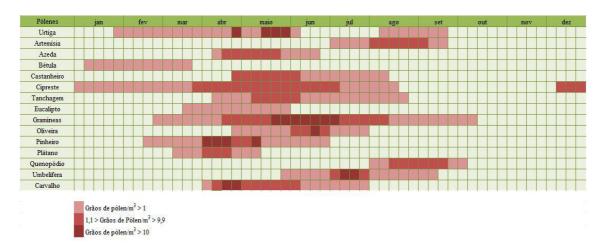


FIGURA 50 - CALENDÁRIO POLÍNICO PARA A REGIÃO DA GUARDA.

Devido ao facto do calendário polínico difundido pela RPA ser para a Região Centro, é natural que existam algumas diferenças com o calendário para a Região da Guarda, dado que algumas espécies não se desenvolvem ou o seu número é muito reduzido na região.

Assim, a Figura 51, compara o calendário com os resultados obtidos e o calendário da RPA. A primeira linha corresponde ao calendário efetuado com base neste estudo, a segunda linha, que contém o nome do pólen com as iniciais RPA à frente, corresponde ao calendário polínico para a região centro da RPA.

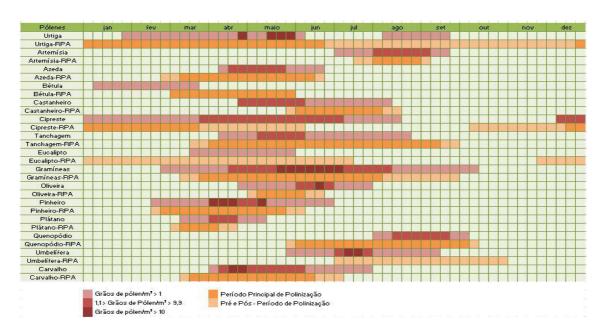


FIGURA 51 – COMPARAÇÃO ENTRE O CALENDÁRIO POLÍNICO DA REGIÃO DA GUARDA E DO CALENDÁRIO POLÍNICO PARA A REGIÃO CENTRO DA RPA.

De uma forma geral, o período de polinização previsto pela RPA, para a região Centro, coincidiu com a nossa observação. Para algumas espécies como a urtiga, a azeda, a tanchagem, o eucalipto e o quenopódio o período de polinização previsto é superior ao observado. Pensamos que as condições meteorológicas particulares da região da Guarda possam ter algum contributo neste efeito. Sendo esta região caracterizada por um clima extremo e praticamente sem transição entre as estações do ano, a polinização das plantas também ocorre de forma repentina e não gradual como registada em outras zonas do país.

Também na maioria dos casos o pico de concentração de pólenes concentrou-se em menos dias que o período de polinização principal. No caso especifico do eucalipto, este pólen surgiu em quantidades mínimas sem se verificar um pico definido, ao contrário do que é previsto pela RPA. Uma vez que o eucalipto não é uma espécie muito abundante nesta zona ajuda a explicar a diferença observada. Pelo contrário, a espécie cujos períodos de polinização tiveram um maior hiato temporal foi a bétula. Nesta região o aparecimento deste pólen ocorre muito mais cedo do que o previsto.

Uma vez que os poluentes químicos podem influenciar o estado vegetativo das espécies é possível que a poluição química possa afetar o mecanismo de polinização. Na Tabela 28 constam as correlações de Pearson efetuadas entre os pólenes e os poluentes químicos. Podemos verificar que os valores das correlações são muito baixos, o que indica não existir nenhuma relação significativa entre as variáveis estudadas. As correlações mais elevadas ocorrem entre os pólenes e o O₃, de forma positiva, e entre os pólenes e o NO_x, de forma negativa.

Embora pudéssemos ter alguma preocupação em relação às possíveis alterações dos pólenes, devido à alta concentração de ozono, um estudo efetuado no Porto (Sousa *et al.*, 2008) chegou à conclusão que as concentrações de ozono não influenciam a maioria das concentrações de pólen. As correlações obtidas entre o ozono e os pólenes foram baixas, tal como acontece neste estudo (Tabela 24).

TABELA 24 – CORRELAÇÕES DE PEARSON ENTRE A CONCENTRAÇÃO DE PÓLENES E DE POLUENTES QUÍMICOS.

		NO	NO ₂	NO _X	SO ₂	СО	O ₃
Grãos de Pólen/m³	Correlação de Pearson	-,047	-,067	-,142 [*]	,057	,059	,155 ^{**}
	Sig. (2 extremidades)	,404	,240	,012	,400	,487	,007
	N	311	311	311	220	139	302

Tendo em conta a influência que o coberto vegetal existente numa determinada região tem na quantidade e tipo de pólen presente na atmosfera local, e na consequente reação alérgica que os mesmos podem provocar na população, foi elaborado um guia de boas práticas para a seleção de árvores ornamentais nos espaços verdes urbanos (Anexo G), que tem como objetivo ajudar numa melhor escolha das espécies a plantar, tendo em conta alguns fatores, nomeadamente a adequação das espécies ao tipo de solo e o seu grau de alergenicidade.

Inês Catarina Pinheiro Dos Santos Lisboa		

CONCLUSÃO

O estudo da qualidade do ar da cidade da Guarda permitiu-nos retirar algumas conclusões. Os poluentes químicos mais significativos são o CO e o O₃, cuja concentração se destacou dos restantes poluentes. Embora as concentrações médias diárias, dos poluentes químicos, estejam abaixo dos valores alvo legislados, a concentração de SO₂ e o O₃ atingiu, em alguns momentos, picos horários que ultrapassaram o valor limite horário. No caso do O₃, esta situação pode-se justificar pela ocorrência simultânea de trovoadas, altas temperaturas e radiação solar mais elevada, e pela sua consequente produção através dos percursores (NO_X).

Os fatores que podem influenciar positiva ou negativamente a concentração destes poluentes são os fatores meteorológicos, embora com correlações pouco elevadas, a ocorrência de incêndios florestais na região, a proximidade das autoestradas A23 e A25, e o consequente arrastamento dos poluentes provenientes do tráfego automóvel.

No que diz respeito às partículas, as PM₁₀ foram aquelas cuja concentração média foi mais elevada. As concentrações dos três tipos de partículas monitorizados estão positivamente relacionadas entre si. Detetámos algumas relações entre as partículas e os poluentes químicos, mas salientamos o facto de as mesmas poderem não ser estatisticamente significativas devido ao baixo número de amostras. Foi também verificado neste trabalho que o pólen está relacionado com as partículas PM₁, contudo estudos mais aprofundados deveriam ser efetuados para confirmar estes resultados. Outro fator que afeta a concentração de partículas no ar exterior é a meteorologia. Neste caso, a temperatura mínima e média, o índice UV, a humidade relativa mínima, e a intensidade do vento são os fatores que mais se destacam.

De forma geral, e comparando as previsões do programa de modelação CALIOPE com as concentrações observadas para os poluentes químicos e para as partículas, podemos concluir que as previsões efetuadas para a Guarda não são muito fiáveis não sendo possível a sua utilização direta para previsões sobre a qualidade do Ar.

Também a concentração dos metais pesados é muito inferior aos valores alvo legislados. O metal pesado que mais se destaca é o níquel, cuja concentração é a mais elevada. As indústrias ligadas ao sector automóvel, presentes nesta região, e o transporte destes poluentes de outras regiões, podem ajudar a justificar os valores mais elevados de níquel. As variáveis meteorológicas que mais influenciam as concentrações de metais pesados são a temperatura média, a humidade relativa, o índice UV e a intensidade do vento.

Em relação aos pólenes, a concentração média diária na cidade da Guarda é de 16,7 grãos de pólen/m³, o que segundo o índice polínico da RPA representa um risco moderado para a população exposta no que respeita ao desenvolvimento de reações alérgicas. No entanto, em alguns dias do mês de abril, maio, junho e julho as concentrações observadas evidenciam um risco muito elevado de desenvolvimento de reações alérgicas, chegando a atingir 500 grãos de pólen/m³.

As espécies de pólen mais frequentes foram o pólen de carvalho (26,82%), pinheiro (23,52%), gramíneas (12,08%) e cipreste (8,48%). As variáveis meteorológicas que mais afetam a sua concentração são a temperatura média, a humidade relativa mínima e a precipitação. A direção do vento também influencia positivamente a sua concentração quando o mesmo sopra do quadrante norte.

Com base nos dados que recolhemos ao longo do período de monitorização, efetuámos o primeiro calendário polínico para a região da Guarda, o qual, na generalidade, está de acordo com as previsões da RPA para a zona centro, embora com algumas particularidades devido às especificidades climatéricas da zona. Seria relevante efetuar um estudo semelhante a este, mas cujo período de monitorização fosse mais longo. Não só poderíamos confirmar algumas das conclusões aqui retiradas, como possivelmente obteríamos melhores correlações entre os dados.

Uma análise mais exaustiva dos fungos presentes no ar da região seria também interessante, pois permitiria conhecer as espécies mais abundantes e poderia ser um bom indicador a incluir na certificação bioclimática da cidade da Guarda.

Em trabalhos futuros, para além da análise química e biológica da qualidade do ar exterior, seria também importante desenvolver estudos sobre a qualidade do ar no interior das habitações, uma vez que, a maioria das pessoas desenvolvem a sua atividade diária em ambientes fechados, quer em casa, no trabalho, assim como em períodos de lazer.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aenab, A. M., Singh, S.K., Lafta, A. (2013); "Critical assessment of air pollution by ANOVA test and human health effects"; *Atmospheric Environment*; 71; 84-91.

Agência Europeia do Ambiente, (2012); "Construir o futuro que queremos ter"; Copenhaga.

Agência Portuguesa do Ambiente - http://www.apambiente.pt/ (Consultado em 10/12/2012).

Air Quality in Europe – http://www.airqualitynow.eu (Consultado em 03/01/2013).

Anagnostopoulou, M. A., Day, J. P., (2006); "Lead concentrations and isotope ratios in street dust in major cities in Greece in relation to the use of lead in petrol"; *Science of the total environment*; 367; 791 – 799.

Apeagyei, E., Bank, M., Spengler, J. (2011); "Distribution of heavy metals in road dust along an urban-rural gradient in Massachusetts"; *Atmospheric Environment*; 45; 2310-2323.

Baldasano, J.M., Pay, M.T., Jorba, O., Gassó, S., Jiménez-Guerrero, P. (2011). "An annual assessment of air quality with the CALIOPE modeling system over Spain". *Science of the Total Environment*. 409, 2163-2178.

Barnes, C., Pacheco, F., Landuyt, J., Hu, F., Portnoy, J. (2001); "Hourly variation of airborne ragweed pollen in Kansas City"; *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*; 86; 166-171.

Basart, S., Pay, M.T., Jorba, O., Pérez, C., Jiménez-Guerrero, P., Schulz, M., Baldasano J.M., (2011); "Aerosols in the CALIOPE air quality modelling system: Validation and analysis of PM levels, optical depths and chemical composition over Europe" *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*; 11; 20575-20629.

Bauer, H., Schueller, E., Weinke, G., Berger, A., Hitzenberger, R., Marr, I., Puxbaum, H. (2008); "Significant contributions of fungal spores to the organic carbon and to the aerosol mass balance of the urban atmospheric aerosol"; *Atmospheric Environment*; 42; 5542-5549.

Beltman, J. B., Hendriks, C., Tum, M., Schaap, M. (2013); "The impact of large scale biomass production on ozone air pollution in Europe"; *Atmospheric Environment*; 71; 352 – 363.

Borrego, C., Monteiro, A., Pay, M., Ribeiro, I., Miranda, A., Basart, S., Baldasano, J. (2011); "How bias-correction can improve air quality forecasts over Portugal"; *Atmospheric Environment*; 45; 6629-6641.

Bosch-Cano, F., Bernard, N., Sudre, B., Gillet, F., Thibaudon, H. R., Badot, P-R., Ruffaldi, P. (2011); "Human exposure to allergenic pollens: A comparison between urban and rural areas"; *Environmental Research*;111; 619-625.

Cakmak, S., Dales, R., Kauri, L., Mahmud, M., Ryswyk, K., Vanos, J., Liu, L., Kumarathasan, P., Thomson, E., Vincent, R., Weichenthal, S. (2014); "Metal composition of fine particulate air pollution and acute changes in cardiorespiratory physiology"; *Environmental Pollution*; 189; 208-214.

Camacho, I., (2007); "Estudo Aerobiológico da Cidade do Funchal. Deteção Bioquímica dos principais aeroalergénios polínicos". Universidade da Madeira.

Carvalho, A. Monteiro, A., Ribeiro, I., Tchepel, O., Miranda, A.I., Borrego, C., Saavedra, S., Souto, J.A., Casares, J.J., (2010); "High ozone levels in the northeast of Portugal: Analysis and characterization"; *Atmospheric Environment*; 44; 1020-1031.

Chapple, G., Athanasopoulos, N. (1993); "System 2000/3000 Graphite Furnace – Methods Manual"; GBC Scientific Equipment Pty Ltd; Edição 1.1; Manual n.º 01-0202-00; Australia.

Comissão Europeia. (2012); Comunidade de Imprensa – Ambiente: Muitos europeus continuam expostos a poluentes atmosféricos nocivos. Bruxelas.

Correia, A. (2007); "Simulação do ozono no ar ambiente no Nordeste Transmontano"; Universidade de Aveiro.

Couto, M., e Morais de Almeida, M. (2011); "Diagnóstico da doença alérgica em Portugal: Um estudo exploratório"; *Rev Port Imunoalergologia*; 19(1); 23-32.

D'Amato G., Liccardi, G., D'Amato M., Cazzola, M., (2001); "The role of outdoor air pollution and climatic changes on the rising trends in respiratory allergy"; *Respiratory Medicine*; 95; 606-611.

Davis, M. L., Cornwell D. A. (1991). *Introduction to Environmental Engineering*. 2^a edição. McGraw – Hill.

Decreto – Lei n.º 102/2010 de 23 de setembro. Diário da República n.º 186/2010 – 1.ª série. Ministério do Ambiente e do Ordenamento de Território. Lisboa.

Deng, W., Louie, P., Liu, W., Bi, X., Fu, J., Wong, M. (2006); "Atmospheric levels and cytotoxicity of PAHs and heavy metals in TSP and PM2.5 at an electronic waste recycling site in southeast China"; *Atmospheric Environment*; 40; 6945-6955.

Departamento de Gestão de Áreas Classificadas, Públicas e de proteção Florestal, (2013); "Relatório Provisório de Incêndios Florestais – 01 de Janeiro a 15 de Outubro". Instituto de Conservação da Natureza e Floresta.

Diretiva 2004/107/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, 15 de Dezembro de 2004. JO L 23 de 26/1/2005, p. 3).

Emberlin, J. (2003-A); "Aerobiology, aerodynamics and pollen sampling"; *Pospety Dermatologii i Alergologii* XX; 4; 196-199.

Emberlin, J. (2003-B); "Meteorological aspects of particle dispersal"; *Pospety Dermatologii i Alergologii* XX; 4; 209-211.

Environnement S.A. (2004-A); "Technical Manual – CO12Module, gaz filter correlation, carbon monoxide analyzer"; Poissy – France.

Environnement S.A. (2004-B); "Technical Manual – AC32Module, chemiluminescent nitrogen, oxide analyzer"; Poissy – France.

Environnement S.A. (2004-C); "Technical Manual – AF22Module, UV fluorescent, sulfur dioxide analyzer"; Poissy – France.

Environnement S.A. (2004-D); "Technical Manual – $O_342Module$, UV photometric, ozone analyzer"; Poissy – France.

European Topic Centre on Air Pollution and Climate Change Mitigation, (2011); "The State of the air quality in 2009"; The Netherlands.

Frenguelli, G. (2003-A); "Pollen structure and morphology"; *Pospety Dermatologii i Alergologii* XX; 4; 200-204.

Frenguelli, G. (2003-B); "Basic microscopy, calculating the field of view, scanning of slides, sources of error"; *Pospety Dermatologii i Alergologii* XX; 4; 227-229.

GBC Scientific Equipment Pty Ltd. (1995); "AA Hydride System HG3000, EHG3000 & MC3000 – Operation & Service Manual"; Publicação n.º 01-0279-00; Australia.

Gomes, J. (2001). *Poluição atmosférica – um manual universitário*. 1ª edição. Porto: Publindústria.

Gonçalves da Silva, B., Caeiro, E., Morais-Almeida, M., Nunes, C., Gaspar, A., TartuceAun, W., Pereira, K., Brandão, R. (2010); "Análise do pólen atmosférico presente na atmosfera de S. Paulo, Brasil". *Rev Port Imunoalergologia*; 18 (Supl 1); 46.

Gunawardena, J., Egodawatta, P., Ayoko G., Goonetilleke, A. (2012); "Role of traffic in atmospheric accumulation of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons"; *Atmospheric Environment*; 54; 502-510.

Henderson, B., Kimura, Y., McDonald-Buller, E., Allen, D., Vizuete, W. (2011); "Comparison of Lagrangian Process Analysis tools for Eulerian air quality models"; *Atmospheric Environment*; 45; 5200-5211.

Ho, W-C., Hartley, W. R., Myers, L., Lin, M-H., Lin, Y-S., Lien, C-H., Lin, R-S. (2007); "Air pollution, weather, and associated risk factors related to asthma prevalence and attack rate"; *Environmental Research*; 104; 402-409.

Instituto Nacional de Estatística, (2011); "Anuário Estatístico da Região Centro 2010"; Lisboa.

Instituto Nacional de Estatística, (2012); "Anuário Estatístico da Região Centro 2011"; Lisboa.

Instituto Politécnico da Guarda – www.ipg.pt (Consultado em 11/07/2013).

Instituto Português do Mar e da Atmosfera - http://www.ipma.pt/pt/ (Consultado em 26/11/2012).

Jervell, J. (2008); "Estudo da influência das características do vento no desempenho de aerogeradores"; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Johansson C., Norman, M., Burman, L. (2009); "Road traffic emission factors for heavy metals"; *Atmospheric Environment*; 43; 4681-4688.

Kammer, R. (2005); "The Microbial Killing Efect of Airborne Ozone"; University of Kalmar, Department of Chemistry and Biomedical Sciences; Sweden.

Kaynak, B., Hu, Y., Martin, R. V., Russell, A. G., Choi, Y., Wang, Y. (2008); "The effect of lightning NOX production on surface ozone in the continental United States"; *Atmospheric Chemistry and Physics*; 8; 5151-5159.

Knutsen, A., Bush, R., Demain, J., Denning, D., Dixit, A., Fairs, A., Greenberger, P., Kariuki, B., Kita, H., Kurup, V., Moss, R., Niven, R., Pashley, C., Slavin, R., Vijay, H., Wardlaw, A. (2012). "Fungi and allergic lower respiratory tract diseases". *Journal of allergy and clinical immunology*. 129-2.

Kong, S., Lu, B., Bai, Z., Zhao, X., Chen, L., Han, B., Li, Z., Ji, Y., Xu, Y., Liu, Y., Jiang, H. (2011); "Potential threat of heavy metals in re-suspended dusts on building surfaces in oilfield city"; *Atmospheric Environment*; 45; 4192-4204.

Laaidi, M. (2000). "La périodicité intrajournalière des émissions polliniques. Utilisation dans la gestion quotidienne des polinoses par les malades"; *Revue Française d'Allergologie et d'Immunologie Clinique*; 40; 597 – 605.

Lacey, M., West, J. (2006); *The Air Spora. A manual for catching and identifying airborne biological particles*. Netherlands: Springer.

Lisboa, I. e Rodrigues, P. (2013); "Poluição Atmosférica e Efeitos da Saúde Humana"; *Egitania Sciencia*; 13; 89-123.

Luo, X., Cao, H. (2012); "Evaluation of air quality using the CMAQ modeling system"; *Procedia Environmental Sciences*; 12; 159-165.

Makra, L., Matyasovszky, I., Deák, A. (2011); "Trends in the characteristics of allergenic pollen circulation in central Europe based on the example of Szeged, Hungary"; *Atmospheric Environment*; 45; 6010 – 6018.

Ministério da Agricultura do Desenvolvimento Rural e das Pescas – Direção Geral dos Recursos Florestais. (2006); *Plano Regional de Ordenamento Florestal da Beira Interior Norte – Bases de Ordenamento*. http://www.icnf.pt/portal/florestas/profs/prof-da-beira-interior-norte. (Consultado em 23/10/2012).

MLU. (2002); "ChemVol Model 2400. High Volume Cascade Impactor" Collection of concentrated particle samples for toxicological, biological and chemical analysis.

Monteiro, A., Strunk, A., Carvalho, A., Tchepel, O., Miranda, A.I., Borrego, C., Saavedra, S., Rodríguez, J., Souto, J., Casares, E., Friese, H., Elbern, H., (2012); "Investigating a high ozone episode in a rural mountain site"; *Environmental Pollution*; 162; 176-189.

Moreno, T., Querol, X., Alastuey, A., Rosa, J., Campa, A., Minguillón, MC., Pandolfi, M., González-Castanedo, Y., Monfort, E., Gibbons, G. (2010). "Variations in vanadium, nickel and

lanthanoid element concentrations in urban air"; *Science of the Total Environment*; 408; 4569-4579.

Moxley, J. M. (1997); "Depletion of carbon monoxide from the nocturnal boundary layer"; *Atmospheric Environmental*; 31; 1147-1155.

Nonnemacher, M., Jakobs, H., Viehmann, A., Vanberg, I., Kessler, C., Moebus, S., Möhlenkamp, S., Erbel, R., Hoffmann, B., Memmesheirmer, M. (2014); "Spatio-temporal modelling of residential exposure to particulate matter and gaseous pollutants for the Heinz Nixdorf Recall Cohort"; *Atmospheric Environment*; 91; 15-23.

Onder, S., Dursun, S. (2006); "Air borne heavy metal pollution of Cedrus libani (A. Rich.) in the city centre of Konya (Turkey)"; *Atmospheric Environment*; 40; 1122-1133.

Onishi, K., Kurosaki, Y., Otani, S., Yoshida, A., Sugimoto, N., Kurozawa, Y. (2012); "Atmospheric transport route determines components of Asian dust and health effects in Japan"; *Atmospheric Environment*; 49; 94-102.

Organização Mundial de Saúde, (2014). "Burden of disease from the joint effects of Household and Ambient Air Pollution for 2012"; Geneva.

Organização Mundial de Saúde; (2006). *Air Quality Guidelines, Global Update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*. Denmark: OMS Regional Office for Europe.

Organização Mundial de Saúde; (2011). "Air Quality and Health". Fact sheet n. ° 313.

Pateraki, St., Asimakopoulos, D.N., Flocas, H.A., Maggos, Th., Vasilakos, Ch. (2012); "The role of meteorology on different sized aerosol fractions (PM₁₀, PM_{2.5}; PM_{2.5-10})"; *Science of the Total Environment*; 419; 124-135.

Pay, M., Jiménez-Guerrero, P., Baldasano, J, (2012). "Assessing sensitivity regimes of secondary inorganic aerosol formation in Europe with the CALIOPE-EU modeling system"; *Atmospheric Environment*; 51; 146-164.

Pay, M., Piot, M., Jorba, O., Gassó, S., Gonçalves, M., Basart, S., Dabdub, D., Jiménez-Guerrero, P., Baldasano J. (2010); "A full year evaluation of the CALIOPE-EU air quality modeling system over Europe for 2004"; *Atmospheric Environment*; 44; 3322-3342.

Pelczar, M., Reid, R., Chan, E. (1980); Microbiologia; Rio de Janeiro: McGraw-Hill.

Querol, X., Alastuey, A., Lopez-Soler, A., Plana, F. (2000); "Levels and chemistry of atmospheric particulates induced by a spill of heavy metal mining wastes in the Don8ana area, Southwest Spain"; *Atmospheric Environment*; 34: 239-253.

Rede Portuguesa de Aerobiologia - http://www.rpaerobiologia.com/ (Consultado em 24/11/2012).

Ribeiro, H., Abreu, I. (2014); "A 10-year survey of allergenic airborne pollen in the city of Porto (Portugal)"; *Aerobiologia*; DOI 10.1007/s10453-014-9331-9.

Rica, V. (2003); "Aerobiología del polen alergénico y polinosis en Santander. Relación de la agudización del asma bronquial com factores del ambiente exterior." Tesis Doctoral. Santander: Universidad de Cantabria.

Rocha, A. (2009); "Cádmio. Chumbo Mercúrio – A problemática destes metais pesados na Saúde Pública?". Porto: Faculdade de Ciência da Nutrição e Alimentação.

Seltzer, J. (1994); "Biological contaminants"; *Journal of allergy and clinical immunology*; 94; 318-326.

Sicard P., Lesne, O., Alexandre, N., Mangin, A., Collomp, R. (2011); "Air quality trends and potential health effects e Development of an aggregate risk index"; *Atmospheric Environment*; 45: 1145-1153.

Sicardi, V., Ortiz, J., Rincón, A., Jorba, O., Pay, M.T., Gassó, S., Baldasano, J.M., (2012). "Assessment of Kalman filter bias-adhustment technique to improve the simulation of ground-level ozone over Spain"; *Science of the Total Environment*; 416; 329-242.

Silva, C. (2008); "Ozono no Nordeste Transmontado: problema local ou regional"; Universidade de Aveiro.

Sistema Caliope – *Pronóstico de la Calidad del Aire* - http://www.bsc.es/caliope/ (Consultado em 04/12/2013).

Soldevilla, C., González P., Teno, P., Vilches E. (2007); "Manual de Calidad y Gestión de la Red Española de Aerobiología". Córdoba: servicio de publicaciones de la universidade de Córdoba.

Sousa, S.I.V., Martins, F.G., Pereira, M.C., Alvim-Ferraz, M.C.M., Ribeiro, H., Oliveira, M., Abreu, I., (2008); "Influence of atmospheric ozone, PM₁₀ and meteorological factors on the concentration of airborne pollen and fungal spores"; *Atmospheric Environment*; 42; 7452-7464.

Spindler, G., Brüggemann, E., Gnauk, T., Grüner, A., Müller, K., Herrmann, H. (2010); "A four-year size-segregated characterization study of particles PM10, PM2.5 and PM1 depending on air mass origin at Melpitz"; *Atmospheric Environment*; 44; 164-173.

Stach, A. (2003); "The use of Hirst volumetric trap, preparation of drums and slides"; *Pospety Dermatologii i Alergologii* XX; 4; 246-249.

The UCB Institute of Allergy. (2005); "Allergic: to be or not to be?"; Brussels – Belgium.

Viegas, D., Ribeiro, L., Almeida, M., Oliveira, R., Viegas, M., Raposo, J., Reva, V., Figueiredo, A., Lopes, S., (2013); "Os Grandes Incêndios Florestais e os Acidentes Mortais Ocorridos em 2013"; Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais; Universidade de Coimbra.

Wang, L., Newchurch, M.J., Pour-Biazar, A., Kuang, S., Khan, M., Liu, X., Koshak, W., Chance, K. (2013); "Estimating the influence of lightning on upper tropospheric ozone using NLDN lightning data and CMAQ model"; *Atmospheric Environment*; 67; 219 – 228.

Wen, C-C., Yeh, H-H. (2010); "Comparative influences of airborne pollutants and meteorological parameters on atmospheric visibility and turbidity"; *Atmospheric Research*; 96; 496-509.

Xu, H. M., Cao, J. J., Ho, K. F., Ding, H., Han, Y. M., Wang, G. H., Chow, J. C., Watson, J. G., Khol, S. D., Qiang, J., Li, W. T. (2012); "Lead concentration in fine particulate matter after the phasing out of leaded gasoline in Xi'an, China"; *Atmospheric Environment*; 46; 217 – 224.

Zemmer, F., Karaca, F., Ozkaragoz, F. (2012); "Ragweed pollen observed in Turkey: Detection of sources using back trajectory models"; *Science of the Total Environment*; 430; 101-108.

ANEXOS

Inês Catarina Pinheiro Dos Santos Lisboa	

A. Indicadores de tendência e dispersão para as variáveis meteorológicas

Tabela A1 - Indicadores de tendência e dispersão para as variáveis meteorológicas (SPSS v. 20)

				Estat	Estatísticas					
	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Humidade	Humidade	Humidade	۸Π	Intensidade	Precipitação	Direção do
	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima		do Vento		Vento
Válido	372	372	372	298	298	298	294	266	312	286
N Ausente	0	9	0	5	5	5	78	106	09	98
Média	6,433	11,147	16,069	50,9401	72,8869	90,9640	5,6156	4,0132	3,598	
Mediana	6,250	9,850	14,050	50,0000	77,0000	96,0000	5,0000	3,5000	000'	
Moda	5,1	22,5	9,5ª	50,00ª	85,00ª	100,00ª	3,00	3,00	0,	ON.
Erro padrão	5,9516	7,1418	8,4825	22,55598	18,13343	12,46794	2,9405	1,69744	9,5090	
Variação	35,422	51,006	71,953	508,772	328,821	155,450	8,647	2,881	90,421	
Mínimo	-7,2	e	ō,	3,00	24,00	25,80	1,00	00,	0,	
Máximo	21,8	28,1	35,0	100,00	100,00	100,00	11,00	11,40	76,6	

a. Há várias modas. O menor valor é mostrado

B. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

TABELA A2 - OUTPUS'S ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (SPSS V.20).

Estatísticas descritivas

	Média	Desvio padrão	Análise N
Temperatura Mínima	5,056	4,0342	131
Temperatura Média	14,237	6,6848	131
Humidade Mínima	51,3206	20,21244	131
Humidade Média	93,3053	11,23654	131
UV	5,7786	2,80464	131
Intensidade do Vento	4,2634	1,60404	131
Precipitação	2,434	5,0072	131
Direção do Vento	218,82	101,050	131
Grãos de Pólen/m3	36,5806	67,68761	131
Fungos	1,7786	,41677	131
NO	,0524	,35704	131
NO2	,2439	,61887	131
NOx	1,7971	1,35515	131
SO2	4,1500	9,60768	131
со	205,4970	112,99350	131
O3	86,1618	14,48680	131

	9	
ĺ,	ũ	
ŀ	8	
	Ε	
	8	
K	8	
	20	
i	Ξ	
	2	
•		

03	910	650		-236	91	,052	-,049	820'-	240	140	-,016	-,234	.332	379	650'-	1,020	320	è	620	020	020	111	c.i.	,373	620,	950'	127	920	0.00	000	330	N-SULPHINE STATE
cc	,265	1.45	-,175	-,084	,145	,053	690'-	-,107	910	-,136	ŗ.	,235	960'	660	1,000	-,039	.00'	700'	,023	.17	090	,274	51	,112	,30,	.90°	000	500'	,332	,145		
202	.748	0.2	907	747	9.21	-,357	-,729	090'	9	.192	11	9.25	-,236	1,200	93	975,	787	,457	,473	967	,431	652	72	,248	4.5	149	,433	,432	.343		,145	
NOS	- 373	- 373	235	380	- 383	-173	- 064	-114	-175	- 093	290	735	:00 .	.035	935	- 322	200	.00	E00	165	:00	150	234	360	023	145	258	.00		343	332	-000 EACTOR
ZCN	-,209	-,258	79.	930'	-,254	950'-	600'	030'-	60	20.	,617	1,000	138	-,015	335	.224	800'	100,	820'	,267	000	, 40	457	,247	,043	,12	000		000	,432	.003	CONTRACTOR OF THE PARTY OF THE
NC	920'	-,043	950'	9/0'	-,123	970	950'	800	850'-	-,119	1,020	.617	750,	510,	,E	.,016	,225	315	225	4.1	,E0,	,354	F-	757	332	650'		000	617	657	000	- Constitution
Furgas	180,	781,	712.	.,192	,228	15	6167	660'	717	1,000	911,	.,107	650'.	760'	.,136	140	,163	815	700,	715	700'	900'	000	134	200		680'	112	145	149	195	
Grács se Fólením3	,254	362	-,236	1.14	,291	.130	, 7. 	J.1'	J0C	,244	380.	391.	-175	3.0	346	,24C	200,	J0C'	500'	760,	JOC.	59C'	300'	106		Z0C'	332	SFC.	520,	3.4	,30 1	and a company of the company
Direção co Vento	-,122	571'-	2	,374	-,072	132	-,013	.00°,	Ę	560'-	∃00 ¹ -		÷114	.30°	·· 107	-,02	:80	570'	270,	:00	,207	200'	t.,		301,	151,	199	177,	360,	272,	,112	1000 CO
Precip tação	271 -	678	513	291	- 500	173	1 000	- 013	- 213	678	989	600	- 064	• 029	E90·	670 -	270	C00	C00	C00	C00	120		C7t	900	C00	137	157	234	37.2	217	- 200-002
Intensidade co Vento	.,281	-,332	,275	,361	12.5	000	<u></u>	,321	:,132	-,2.7	970,	360'-	.,143	.,057	590'	280	100'	.00	100	.00	200'		,021	200	390	300,	,384	.14.	190,	,259	,274	
UV	 94.	298	. 831	- 561	200 ,	-245	.90	- 072	291	225	-123	- 294	. 383	- 015	175	181	200	200	200	200		200	200	207	200	004	180	000	200	431	190	
Hur-idade Véda	674.	616	,611	1,00	136	136	136	,374	†L,-	75.	670,	900	98	,047	130'-	.,255	(00'	(30)	C06'	(30)	()0()	C06'	00'	G(250	110	5,	7367	19,	755	17.	CTT-CPanceron
Hunidada Vin ma	617'-	127'-	1,020	119	80.	,278	518	126	.239	-,214	950'	F	235	970'	.,175	F 1 2 2 1	000'	000		0.00	0.00,	.20	000'	570'	620'	7.20,	225	870'	620,	677	620'	ACCORDING TO
emperatura Mécia	988'	000'1	-,754	6/9'-	958	-,332	-,349	-,145	238	181,	-,043	.,258	.,379	010,	247	660'	000'	000'	000'	000'	000'	000'	000'	640	000	910,	315	,00,	000	157	,002	0.0000000000000000000000000000000000000
Emperatura Mír ims	1,000	998	-,473	624'-	610	-,281	-147	-,122	797	780'	990'	-,209	-,378	,048	,265	910		000'	000'	000'	000') 100,	740	83.	ZIO.	163	225	805	000	292	100,	
	Temperstura Minima	Temperatura Média	Humicade Minima	Humicade Média	ň	Intens dade do Vento	Prec piração	Direção do Vento	Grãos de Pó en/m3	Fungos	NO	NO2	NOx	203	03	03	Temperatura Minima	Temperatura Média	Humicade Minima	Humicade Média	N/A	Intens dade do Vento	Prec pitação	Direção do Vento	Grãos de Pó ením3	Fungos	NO	NO2	NOx	208	00	
	Correlação																Sig. (1 extrem dade)															

Teste de KMO e Bartlett

Medida Kaiser-Meyer-Olkin de ad	lequação de amostragem.	,687
	Chi-quadrado aprox.	2175,745
Teste de esfericidade de Bartlett	df	153
	Sig.	,000

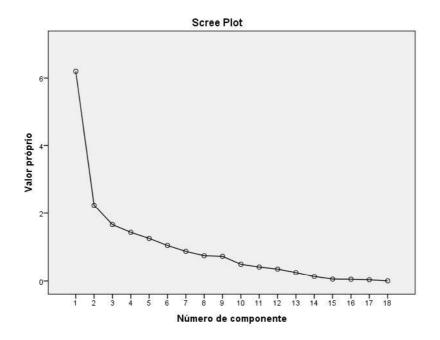
Comunalidades

	Inicial	Extração
Temperatura Mínima	1,000	,874
Temperatura Média	1,000	,951
Humidade Mínima	1,000	,861
Humidade Média	1,000	,761
UV	1,000	,869
Intensidade do Vento	1,000	,725
Precipitação	1,000	,733
Direção do Vento	1,000	,681
Grãos de Pólen/m3	1,000	,568
Fungos	1,000	,584
NO	1,000	,673
NO2	1,000	,907
NOx	1,000	,789
SO2	1,000	,598
со	1,000	,558
O3	1,000	,813

Método de extração: análise do componente principal.

					Variação total explicada	explicada			
Componente		Valores próprios iniciais	iniciais	Soma	us de extração de ca	Somas de extração de carregamentos ao quadrado	Somas	Somas rotativas de carregamentos ao quadrado	ntos ao quadrado
	Total	% de variação	% cumulativa	Total	% de variação	% cumulativa	Total	% de variação	% cumulativa
1	6,206	34,480	34,480	6,206	34,480	34,480	3,957	21,981	21,981
2	2,232	12,401	46,881	2,232	12,401	46,881	3,279	18,216	40,197
က	1,661	9,230	56,111	1,661	9,230	56,111	1,969	10,940	51,137
4	1,435	7,975	64,086	1,435	7,975	64,086	1,698	9,434	60,571
5	1,255	6,973	71,059	1,255	6,973	71,059	1,502	8,347	68,918
9	1,049	5,828	76,887	1,049	5,828	76,887	1,434	7,969	76,887
7	,876	4,869	81,756						
8	,750	4,165	85,921						
ი	,731	4,059	89,980						
10	,498	2,766	92,746						
-	,416	2,313	95,059						
12	,355	1,971	97,030						
13	,251	1,394	98,424						
14	,136	,755	99,179						
15	950,	,313	99,492						
16	,052	,291	99,783						
17	,035	,195	826'66						
18	,004	,022	100,000						

Método de extração: análise do componente principal.



Matriz de componente^a

			Comp	onente		
	1	2	3	4	5	6
Temperatura Máxima	,938					
Temperatura Média	,912					
UV	,900					
Humidade Média	-,725					
Humidade Mínima	-,862					
Temperatura Mínima	,771					
NO2		,859				
NOx		,690				
NO						
co						
Fungos						
SO2				,686,		
O3				,656		
Direção do Vento					,647	
Precipitação						
Intensidade do Vento						
Grãos de Pólen/m3						

Método de extração: Análise do Componente principal.

a. 6 componentes extraídos.

Matriz de componente rotativa^a

			Compo	onente		
	1	2	3	4	5	6
Humidade Média	,671					
Humidade Mínima	,866					
UV	-,767					
Precipitação	,721					
Temperatura Mínima		,849				
Temperatura Média		,746				
NOx		-,684				
NO			,803			
NO2			,793			
СО			,649			
Direção do Vento				,796		
Intensidade do Vento				,693		
O3					,869	
SO2					,725	
Fungos						,675
Grãos de Pólen/m3						,644

Método de extração: Análise do Componente principal.

Método de rotação: Varimax com normalização de Kaiser.

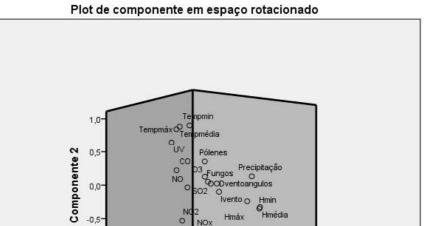
a. Rotação convergida em 17 iterações.

Matriz de transformação de componente

Componente	1	2	3	4	5	6
4	-,737	,605	044	-,198	,091	,201
0	•		,		•	•
2	-,182	-,259	,773	-,452	-,314	-,020
3	,282	,625	,487	,355	,035	-,408
4	-,067	-,213	,379	,230	,795	,347
5	-,267	-,127	,130	,725	-,487	,365
6	,518	,338	,060	-,230	-,148	,734

Método de extração: Análise do Componente principal.

Método de rotação: Varimax com normalização de Kaiser.



-0,5 0,0 0,5 Componente 1 Componente 3

Páginal 112

C. Indicadores de tendência e dispersão para os metais pesados

TABELA A3 - INDICADORES DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO PARA O CHUMBO NAS PARTÍCULAS PM1, PM2.5 E PM10 (SPSS v. 20).

_	_				
	cti	sti.	cti	ica	•
	310	3 L I	ЭU	ıva	3

		Chumbo PM1	Chumbo PM2.5	Chumbo PM10
	Válido	20	20	20
N	Ausente	0	0	0
Média	l	,7990	,5910	,9030
Media	ına	,9300	,4800	,6250
Moda		,93 ,48		1,64
Erro p	adrão	,36047	,33201	,71380
Variaç	ção	,130	,110	,510
Mínim	10	,31	,13	,12
Máxim	no	1,26	1,06	1,83

Tabela A4 - Indicadores de tendência e dispersão para o níquel nas partículas PM_1 , $PM_{2.5}$ e PM_{10} (SPSS v. 20).

Estatísticas

		Níquel PM1	Níquel PM2.5	Níquel PM10
	Válido	20	20	20
N	Ausente	0	0	0
Média		1,4495	2,0350	2,3170
Media	na	,8250 1,2100		1,1800
Modo		,66	5,05	,26
Erro p	adrão	2,08410	1,83017	2,34679
Variaç	ão	4,343	3,350	5,507
Mínim	0	,14	,21	,26
Máxim	10	9,67	5,05	7,04

Tabela A5 - Indicadores de tendência e dispersão para o cádmio nas partículas PM_1 , $PM_{2.5}$ e PM_{10} (SPSS v. 20).

Estatísticas

		Cádmio PM1	Cádmio PM2.5	Cádmio PM10
	Válido	20	20	20
N	Ausente	0	0	0
Média		,0785	,0331	,1410
Mediar	na	,0400 ,0100		,0200
Modo		,01	,01 ,01	
Erro padrão		,10163	,03989	,30031
Variaç	ão	,010	,002	,090
Mínimo	0	,01	,00,	,01
Máxim	0	,30	,11	1,33

Tabela ${f A6}$ - Indicadores de tendência e dispersão para o arsénio nas partículas ${\bf PM_1}, {\bf PM_{2.5}}$ e ${\bf PM_{10}}$ (SPSS v. 20).

Estatísticas

		Arsénio PM1	Arsénio PM2.5	Arsénio PM10
	Válido	19	19	19
N	Ausente	1	1	1
Média		,3526	,3579	,4489
Media	na	,3100	,2800	,3200
Modo		,31 ,16		,25
Erro pa	adrão	,13403	,13403 ,23794	
Variaç	ão	,018	,057	,124
Mínimo	0	,14	,14	,07
Máxim	10	,65	,82	1,27

D. CORRELAÇÕES DE PEARSON ENTRE OS METAIS PESADOS E AS PARTÍCULAS.

TABELA A7 - CORRELAÇÕES DE PEARSON ENTRE A CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS NAS PARTÍCULAS PM10, PM2.5 E PM1 (SPSS v.20).

	,			
	ċ	i	ś	
2	()	
	٩		?	
		١	2	
	٤	1)	
	į			
	۹		?	
ç			2	

				•	Correlações	sec							
		Chumbo PM ₁	Chumbo PM _{2.5}	Chumbo PM ₁₀	Níquel PM ₁	Níquel PM _{2.5}	Níquel PM ₁₀	Cádmio PM ₁	Cádmio PM _{2.5}	Cádmio PM ₁₀	Arsénio PM ₁	Arsénio PM _{2.5}	Arsénio PM ₁₀
Chumbo PM ₁	Correlação de Pearson	•	,764**	. ,099'	-,034	-,024	-,452*	620,	,035	,239	,211	,014	-,040
	Sig. (2 extremidades)		000,	,000	,887	,919	,046	,759	,883	,310	,385	,953	,870
	Z	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19
Chumbo PM _{2.5}	Correlação de Pearson	,764**	_	026,	,150	,504*	-,269	-,287	-,008	,255	,125	-,165	-,053
	Sig. (2 extremidades)	000'		000,	,529	,024	,251	,220	,972	,279	,610	498	,830
	Z	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	0,1	19
Chumbo PM ₁₀	Correlação de Pearson	.,099	**076,	7	,164	,550*	-,312	-,485*	-,116	,191	,074	-,292	-,119
	Sig. (2 extremidades)	,000	000,		,490	,012	,180	,030	,626	,419	,763	,226	,626
	Z	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	0,1	10
Níquel PM ₁	Correlação de Pearson	-,034	,150	,164	_	,234	,424	-,147	,489*	.,894 ^{**}	-,061	-,026	,137
	Sig. (2 extremidades)	788,	,529	,490		,320	,062	,536	,029	000,	,804	,915	,576
	Z	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19
Níquel PM _{2.5}	Correlação de Pearson	-,024	,504*	,550*	,234	-	-,034	-,406	,050	,143	,021	9/0'-	,123
	Sig. (2 extremidades)	,919	,024	,012	,320		988,	920,	,833	,547	,931	,758	,616
	Z	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19
Níquel PM ₁₀	Correlação de Pearson	-,452*	-,269	-,312	,424	-,034	_	,370	693	,412	,370	,463*	,541*
	Sig. (2 extremidades)	,046	,251	,180	,062	988,		,108	,000	,071	,119	,046	,017
	Z	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19
Cádmio PM ₁	Correlação de Pearson	,073	-,287	-,485*	-,147	-,406	,370	_	,630**	,202	,491*	.,160**	,569*
	Sig. (2 extremidades)	,759	,220	,030	,536	920,	,108		,003	,394	,033	000	,011
	Z	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19
× × × × × × × × × × × × × × × × × × ×	established () to 0 levis on extendingly a second was a **	(achabitan)											

^{**} A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

^{*.} A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

TABELA A8 - CORRELAÇÕES DE PEARSON ENTRE A CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS NAS PARTÍCULAS PM10, PM2.5 E PM1 (SPSS v.20) (CONTINUAÇÃO).

Correlações

		Chumbo PM ₁	Chumbo PM _{2.5}	Chumbo PM ₁₀	Níquel PM ₁	Níquel PM _{2.5}	Níquel PM ₁₀	Cádmio PM ₁	Cádmio PM _{2.5}	Cádmio PM10	Arsénio PM₁	Arsénio PM _{2.5}	Arsénio PM10
Cádmio PM _{2.5}	Correlação de Pearson	,035	800'-	-,116	,489*	050'	.,£69'	089'	Υ-	,745**	,848**	,870 <u>,</u>	,926,
	Sig. (2 extremidades)	,883	,972	,626	,029	,833	,001	,003		000	000	000	000,
	Z	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19
Cádmio PM ₁₀	Correlação de Pearson	,239	,255	191	,894"	,143	,412	,202	,745**	_	,856	,853	.917**
	Sig. (2 extremidades)	,310	,279	,419	,000	,547	,071	,394	000,		000,	000,	,000
	Z	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	9
Arsénio PM ₁	Correlação de Pearson	,211	,125	,074	-,061	,021	,370	,491 [*]	,848**	,856**	-	,758**	.910**
	Sig. (2 extremidades)	,385	,610	,763	,804	,931	,119	,033	000,	000		000	,000
	Z	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Arsénio PM _{2.5}	Correlação de Pearson	,014	-,165	-,292	-,026	-,076	,463*	,760**	.870**	,853**	,758**	-	,916**
	Sig. (2 extremidades)	,953	,498	,226	,915	,758	,046	000,	000,	000,	000		000,
	Z	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Arsénio PM ₁₀	Correlação de Pearson	-,040	-,053	-,119	,137	,123	,541*	,569*	,926,	,917**	,910**	,916**	_
	Sig. (2 extremidades)	,870	,830	929'	,576	,616	,017	,011	000,	000	000	000	
	N	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19

^{**.} A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

^{*.} A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

E. Correlações de Pearson entre os metais pesados e os poluentes químicos

Tabela A9 - Correlações de Pearson entre a concentração de metais pesados e os poluentes químicos (SPSS v.20).

Correlações

							COLLCIAÇÕES						
		Chumbo PM1	Chumbo PM2.5	Chumbo PM10	Níquel PM1	Níquel PM2.5	Níquel PM10	Cádmio PM1	Cádmio PM2.5	Cádmio PM10	Arsénio PM1	Arsénio PM2.5	Arsénio PM10
NO2	2 Correlação de Pearson	,294	,292	9339	-,233	-,029	-,402	-,271	-,339	-,228	-,058	-,364	-,296
	Sig. (2 extremidades)	,236	,239	,168	,353	906,	60,	,277	,169	,362	,824	,151	,248
	Z	18	18	18	18	18	18	18	18	18	17	17	17
Š	Correlação de Pearson	-,062	-,156	-,076	-,494*	,074	-,447	-,015	-,148	-,391	,336	,017	,157
	Sig. (2 extremidades)	908'	,536	,765	,037	692'	,063	,952	,558	,108	,187	,948	,546
	z	18	18	18	18	18	18	48	18	18	17	17	17
S02	. Correlação de Pearson	,139	-,007	-,034	,742**	-,228	,438	,302	,721**	,828*	,567	,472	,518
	Sig. (2 extremidades)	999'	,982	,916	900'	,476	,155	,340	,008	,001	690'	,143	,102
	z	12	12	12	12	12	12	12	12	12	1	-	-
80	Correlação de Pearson	-,030	-,208	-,393	,315	-,226	,500	,710**	,500*	,420	,004	,527*	,259
	Sig. (2 extremidades)	910	,423	,119	,218	,384	,041	,000	,041	600,	686,	980,	,333
	Z -	17	17 17	17 17	17	17	17	17	17	17	16	16	16

^{*.} A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades). ** A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades)

F. PRINCIPAIS INCÊNDIOS OCORRIDOS NO DISTRITO DA GUARDA

Segundo o Relatório Provisório de Incêndios Florestais (1 jan e 15 out. de 2013) do ICNF e o Relatório "Os grandes incêndios florestais e os acidentes mortais ocorridos em 2013" do Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais, no distrito da Guarda ocorreram 192 incêndios e 225 fogachos (área < 1ha), num total de área ardida de 9303 ha.

Na Tabela A10, constam os principais incêndios ocorridos.

TABELA A10 - PRINCIPAIS INCÊNDIOS FLORESTAIS OCORRIDOS EM 2013 NO DISTRITO DA GUARDA (ICNF, 2013 E VIEGAS *ET AL.*, 2013)

Local	Data	Área ardida (ha)
Trancoso/Vilares	10/07/2013	599
Trancoso/Palhais	20/07/2013	179
Trancoso/Moreira de Rei	11/08/2013	966
Aldeia Viçosa	15/08/2013	588
Celorico da Beira/Rapa	15/08/2013	159
Seia/Loriga	17/08/2013	113
Vila Nova de Foz Côa/Almendra	19/08/2013	120
Trancoso/Santa Maria	21/08/2013	1101
Vila Nova de Foz Côa/Castelo Melhor	22/08/2013	112
Sabugal/Nave	23/08/2013	297
Vila Nova de Foz Côa/Numão	26/08/2013	415
Figueira de Castelo Rodrigo/Vilar de Amargo	27/08/2013	563
Vila Nova de Foz Côa/Almendra	28/08/2013	1955
Vila Nova de Foz Côa/Muxagata	28/08/2013	740

G. CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS NA CIDADE DA GUARDA

Dado que a maioria dos poluentes químicos provêm da queima de combustíveis, a informação sobre o seu consumo fornece uma referência para as possíveis concentrações de determinados poluentes nomeadamente CO, NO₂, PM₁₀. Na cidade da Guarda o consumo de combustível no ano de 2010 encontra-se na Tabela A11 e Figura A1.

TABELA A11 - CONSUMO DE COMBUSTÍVEL, EM TONELADAS, NO ANO DE 2010 NA CIDADE DA GUARDA (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA REGIÃO CENTRO, 2011).

	Gás (t)		Gasoli	ina (t)		Gasólo	eo (t)	
Butano	Propano	GPL	S/ chumbo 95	S/ chumbo 98	Rodoviário	Colorido	Aquecimento	Fuel
3164	2712	187	4079	357	20476	1648	4249	1176

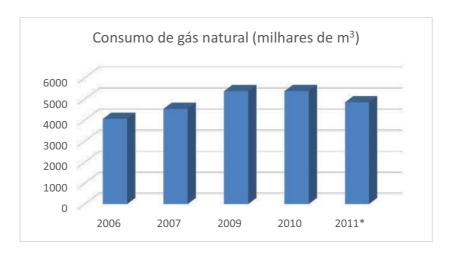


FIGURA A1 - CONSUMO DE GÁS NATURAL NA CIDADE DA GUARDA NOS ANOS DE 2006, 2007, 2009, 2010 E 2011; *VALOR PROVISÓRIO (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA REGIÃO CENTRO, 2011).

H. GUIA DE BOAS PRÁTICAS PARA A SELEÇÃO DE ÁRVORES ORNAMENTAIS NOS ESPAÇOS VERDES URBANOS

ÍNDICE

Objetivo do guia
1. Introdução
2. Escolha de Árvores Ornamentais
2.1. Caso da Cidade da Guarda
Referências Bibliográficas
ÍNDICE DE TABELAS
Tabela 1 – Percentagem de Espécies exóticas introduzidas nas difererentes regiões do país (Almeida e Freitas, 2001)
Tabela 2 – Taxa de transpiração de algumas espécies arbóreas (carvalho, 2009) 123
Tabela 3 – Taxa de produção de oxigénio de diferentes espécies arbóreas (Carvalho, 2009) 123
Tabela 4 – Potêncial produtivo de algumas espécies para a região da Guarda (PROFBIN, 2006).
Tabela 5 – espécies arbóreas com capacidade de redução de ruído entre 6 a 10 dB (Carvalho, 2009)
Tabela 6 – Sensibilidade de espécies arbóreas à poluição atmosférica (Carvalho, 2009) 124
Tabela 7 – Grau de Alergenicidade segundo as diferentes espécies de pólenes (RPA, 2013) 125
Tabela 8 – Relação entre o nível de alergenicidade e o tipo de solo. Imagens: jardim botânico UTAD. Legenda: Verde – Espécie a escolher; Amarelo – Espécie a considerar; Laranja – Espécie
a evitar; Vermelho – espécie a excluir

OBJETIVO DO GUIA

Este guia tem como principal objetivo alertar para a importância de uma seleção criteriosa das espécies arbustivas a plantar nos espaços públicos urbanos e nos jardins particulares de uma cidade, tendo em consideração variáveis como a taxa de transpiração, a taxa de produção de oxigénio, a adequação ao tipo de solo, a sensibilidade à poluição atmosférica, a capacidade de absorção acústica e o impacte alergológico, que as espécies vegetais podem ter no desenvolvimento de uma cidade bioclimática.

1. Introdução

As cidades suportam a maioria da população mundial e a expectativa é que o fluxo migratório das zonas rurais para as zonas urbanas continue. No século passado, apenas 20% da população vivia nas cidades, hoje em dia esse número ronda os 50% (UNRIC, 2014). No ano de 2030, prevê-se que 60% da população viverá nas áreas urbanas e em 2050, a previsão é de 70% (Torres *et al.*, 2013).

O crescimento urbano tem colocado uma pressão elevada sobre os recursos, as infraestruturas e os equipamentos, afetando negativamente a qualidade de vida das populações que vivem nas cidades, produzindo um impacto profundo no ambiente global, quer em termos de consumo de recursos, quer em termos de produção de resíduos e poluição (Torres *et al.*, 2013). A criação de espaços verdes urbanos, uma paisagem natural em contínuo (*continuum naturale*), procura minimizar os efeitos negativos da concentração excessiva de população no espaço urbano, convidando à realização de atividades físicas e de lazer. Estes espaços são também usados na produção de alguns produtos agrícolas frescos bem como na integração de linhas e cursos de água, com especial atenção para os leitos de cheia, e ao enquadramento de infraestruturas (Wolch *et al.*, 2014).

Os espaços verdes têm também a capacidade de controlar o microclima, contribuindo para a sua amenização, através das suas propriedades de termorregulação, controlo da humidade, controlo da radiação solar, absorção de CO₂, aumento da concentração de O₂, retenção e absorção da água da chuva e proteção contra a erosão.

Tendo em consideração as mais-valias dos espaços verdes nas cidades, a sua criação e manutenção faz, cada vez mais, parte da política dos municípios. A estrutura dos espaços verdes deve seguir determinados padrões de modo a beneficiar a população que deles pode fruir. Um indicador da qualidade de vida da população pode ser o índice de área verde, o qual está fixado, de acordo com OMS, a ONU e a FAO, num mínimo de $12m^2$ /habitante (Atena, 2009).

Para além de outros fatores, a escolha das espécies arbóreas deve ter em consideração o grau de alergenicidade do pólen produzido por cada espécie plantada. Não podemos esquecer que as alergias são um problema de saúde pública. Estima-se que em 2015 cerca de metade dos europeus sejam afetados por esta doença (Couto e Morais de Almeida, 2011).

2. ESCOLHA DE ÁRVORES ORNAMENTAIS

Nem toda a flora portuguesa é autóctone, existe um grande número de espécies vegetais que foram introduzidas no nosso habitat. O gosto pela novidade, pelo exótico, pelo desconhecido e pela raridade, aliado à facilidade de introdução de algumas espécies, por não terem grandes exigências de manutenção, são algumas das razões da sua grande difusão pelos jardins portugueses e pela aparente inferiorização das nossas espécies autóctones (Ferreira, 2004).

Na Tabela 1, constam as percentagens de espécies exóticas que foram introduzidas nas diferentes regiões do país até 2000. Como podemos observar, a Beira Baixa foi a região em que menos espécies foram introduzidas com 16,6% e a Estremadura em que mais espécies foram introduzidas com 62,8%.

TABELA 1 – PERCENTAGEM DE ESPÉCIES EXÓTICAS INTRODUZIDAS NAS DIFERERENTES REGIÕES DO PAÍS (ALMEIDA E FREITAS, 2001).

Espécies Exóticas Intro	duzidas (%)
Minho	31,0
Trás-os-Montes	31,6
Douro Litoral	43,2
Beira Litoral	52,4
Beira Alta	18,4
Beira Baixa	16,6
Estremadura	62,8
Ribatejo	26,8
Alto Alentejo	27,8
Baixo Alentejo	32,0
Algarve	27,6

As árvores ornamentais são aquelas que, pelo seu valor estético ou funcional, conseguem modificar o ambiente no qual se encontram. Por esse mesmo motivo é que costumam ser incorporadas em jardins públicos e particulares. Diferenciam-se de outras espécies pela cor de suas folhas, os formatos de suas copas, seu tamanho, seus troncos e demais características.

Proporcionam sombra e formam parte do cenário geográfico de praças, parques, bosques ou campos e o seu aspeto ornamental, como o mesmo nome indica, atua de maneira decorativa.

Para além de alguns fatores a ter em conta, como a taxa de transpiração, a taxa de produção de oxigénio, a adequação ao tipo de solo, a sensibilidade à poluição atmosférica e até a capacidade de funcionarem como barreira acústica, é também essencial ter em conta o grau de alergenicidade do pólen de cada espécie (Carvalho, 2009; Costa, s.d.).

A taxa de transpiração é um fator que permite uma regulação da temperatura e humidade relativa do ar. Na Tabela 2, encontram-se os valores da taxa de transpiração para algumas espécies comuns na nossa região em grama por dia e por grama de massa verde.

TABELA 2 – TAXA DE TRANSPIRAÇÃO DE ALGUMAS ESPÉCIES ARBÓREAS (CARVALHO, 2009).

Nome comum (Espécie)	Taxa de transpiração (g.dia ⁻¹ g ⁻¹ MV)
Choupo-branco (Populus alba)	13,0
Bétula-branca (Betula pendula)	8,1
Faia-europeia (Fagus sylvatica)	3,9
Pinheiro-branco (Pinus strobus)	2,1
Pseudotsuga (Pseudotsuga menziesii)	1,3

As árvores influenciam também a circulação do ar nas cidades, contribuindo favoravelmente para uma renovação do seu ar poluído. Na Tabela 3, encontram-se os valores da taxa de produção de oxigénio para diferentes espécies em grama por dm² e por hora.

TABELA 3 – TAXA DE PRODUÇÃO DE OXIGÉNIO DE DIFERENTES ESPÉCIES ARBÓREAS (CARVALHO, 2009).

Nome comum (Espécie)	Taxa de produção (g.dm ⁻² .h ⁻¹)
Bétula-branca (Betula pendula)	2,5
Faia-europeia (Fagus sylvatica)	1,8
Pinheiro-silvestre (Pinus sylvestris)	1,2
Pseudotsuga (Pseudotsuga menziesii)	1,1

A caracterização litológica da região encontra-se entre os fatores que têm um papel importante na determinação das espécies que melhor se adaptam. O material originário do solo irá determinar, consoante os processos metamórficos que sobre ele atuem, as características futuras do solo. A região da Guarda é formada maioritariamente por rochas ácidas duras. Assim, em termos litológicos esta região não apresenta restrições significativas, por dominarem os granitos, tolerados pela maior parte das espécies florestais (PROFBIN, 2006).

Na Tabela 4, constam os potenciais produtivos de algumas espécies para a região da Guarda.

TABELA 4 - POTÊNCIAL PRODUTIVO DE ALGUMAS ESPÉCIES PARA A REGIÃO DA GUARDA (PROFBIN, 2006).

Espécies com potencial produtivo favorável	Espécies com potencial produtivo regular
Castanheiro (Fagaceae Castanea Sativa) Carvalho-negral (zona este) (Fagaceae Quercus pyrenaica) Carvalho-alvarinho (zona oeste) (Fagaceae Quercus robur)	Azinheira (Fagaceae Quercus ilex) Sobreiro (zona oeste) (Fagaceae Quercus Suber. L)

A capacidade das espécies arbustivas desempenharem um papel como barreira acústica está relacionada com a capacidade de absorção do sinal sonoro pela folhagem das árvores. A eficácia na redução do ruído varia consoante as espécies utilizadas, sendo maior para aquelas com folha mais larga e folhagem mais densa (Tabela 5).

TABELA 5 – ESPÉCIES ARBÓREAS COM CAPACIDADE DE REDUÇÃO DE RUÍDO ENTRE 6 A 10 DB (CARVALHO, 2009).

Espécie (Nome Comum) com redução de ruído (6 a 10 dB)		
Bordo (Acer pseudoplatanus)	Pseudotsuga (Pseudotsuga menziesii)	
Azevinho (Ilex aquifolium)	Carvalho-alvarinho (Quercus róbur)	
Faia-europeia (Fagus sylvatica)	Tília (Tília platyphyllos)	
Loureiro-cerejeira (Prunus laurocerasus)	Rododendro (Rhododendron)	

As espécies apresentam também diferente tolerância à poluição atmosférica. Com o conhecimento dos principais poluentes constantes numa cidade, podemos ainda selecionar as espécies mais adaptadas (Tabela 6).

TABELA 6 – SENSIBILIDADE DE ESPÉCIES ARBÓREAS À POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA (CARVALHO, 2009).

Poluente	Tolerante	Sensível
Dióxido de enxofre	Bordo-negundo (Acer negundo)	Bétula-branca (Betula pendula)
	Nogueira-do-japão (Ginkgo biloba)	Cedro-do-atlas (Cedrus atlântica)
	Plátano (Platanus hispânica)	Abeto-falso (Picea abies)
	Carvalho-americano (Quercus rubra)	Pseudotsuga (Pseudotsuga menziesii)
Ozono	Abeto-branco (Abies alba)	Larício (Larix decídua)
	Bétula-branca (Betula pendula)	Tulipeiro (Liriodendron tulipífera)
	Tília-das-folhas-pequenas (Tilia cordata)	Plátano (Platanus hispânica)
Óxidos de azoto	Bordo-negundo (Acer negundo)	Tília-argêntea (Tilia tomentosa)
	Cedro-branco (Chamaecyparis)	Abeto-falso (Picea abies)
	Faia-europeia (Fagus sylvatica)	Bétula-branca (Betula pendula)

Nem todas as espécies arbóreas produzem pólen com o mesmo impacto na saúde humana. Os níveis de alergenicidade ajudam-nos a perceber aqueles que têm maior capacidade para causar reações alérgicas. Na Tabela 7 constam os níveis de alergenicidade das diferentes famílias de pólenes, segundo a Rede Portuguesa de Aerobiologia.

TABELA 7 - GRAU DE ALERGENICIDADE SEGUNDO AS DIFERENTES ESPÉCIES DE PÓLENES (RPA, 2013).

Nome Comum (Taxa)	Grau de alergenicidade
Artemísia (Compositae)	Moderado
Azeda (Polygonaceae)	Baixo
Carvalho (Fagaceae Quercus)	Moderado
Bétula (Betulaceae)	Elevado
Castanheiro (Fagaceae Castanea Sativa Mill)	Baixo
Cipreste (Cupressaceae)	Moderado
Erva de Orelha (Plantaginaceae)	Moderado
Eucalipto (Myrtaceae)	Baixo
Gramíneas (Poaceae)	Elevado
Oliveira (Oleaceae)	Elevado
Palmeira (Palmae)	Baixo
Pinheiro (Pinaceae)	Baixo
Plátano (<i>Platanaceae</i>)	Moderado
Quenopódio (Chenopodiaceae)	Moderado
Salgueiro (Salicaceae)	Baixo
Sobreiro (Fagaceae Quercus Suber. L)	Moderado
Urtiga (Urticaceae)	Baixo

2.1. CASO DA CIDADE DA GUARDA

A cidade da Guarda tem alguns espaços verdes, com especial destaque para o Jardim José de Lemos, o Parque Municipal, o Parque da Saúde, localizados no centro da cidade, e o Parque Urbano do Rio Diz, localizado na zona da Estação da Guarda. Também algumas rotundas e avenidas da cidade têm sido, nos últimos tempos, alvo de intervenção e arborização.

Tendo em conta que a Guarda tem um baixo índice de poluição atmosférica e é uma cidade com um índice de ruído relativamente baixo, os fatores mais preocupantes a considerar são a alergenicidade do pólen das diferentes espécies e a sua adaptação ao tipo de solo da região.

Assim, para avaliar a adequação das espécies, especificamente à cidade da Guarda, efetuámos uma avaliação segundo o grau de alergenicidade e a adequação ao tipo de solo das espécies. Ao

grau de alergenicidade foi atribuída uma ponderação de 70% e à adequação ao tipo de solo foi atribuída uma ponderação de 30%. Definimos uma escala de 0 a 10, em que 0 corresponde a uma espécie pouco adequada e 10 corresponde a uma espécie muito adequada.

A Tabela 8, indica as espécies mais apropriadas para esta região tendo em conta os dois fatores acima referidos. O Castanheiro é a espécie mais adequada dado que se adapta bem ao tipo de solo e simultaneamente produz um pólen com um baixo nível de alergenicidade. Espécies como o carvalho, o sobreiro e a azinheira embora se adaptem bem ao tipo de solo têm um índice de alergenicidade moderado. O pinheiro tem um índice de alergenicidade baixo, embora não seja das espécies arbóreas com melhor adaptação ao tipo de solo da região, de qualquer forma, deve ser sempre uma espécie a considerar. Devemos evitar espécies como o cipreste, o salgueiro e o plátano que para além do índice de alergenicidade moderado também não têm uma excelente adaptação a este tipo de solo.

TABELA 8 – RELAÇÃO ENTRE O NÍVEL DE ALERGENICIDADE E O TIPO DE SOLO. IMAGENS: JARDIM BOTÂNICO UTAD.

LEGENDA: VERDE – ESPÉCIE A ESCOLHER; AMARELO – ESPÉCIE A CONSIDERAR; LARANJA – ESPÉCIE A EVITAR;

VERMELHO – ESPÉCIE A EXCLUIR.



Castanheiro

- •Grau de alergenicidade (70%): 10
- •Adequação do tipo de solo (30%): 10
- Avaliação final: 10



Pinheiro

- •Grau de alergenicidade (70%): 10
- •Adequação do tipo de solo (30%): 5
- Avaliação final: 8,5



Carvalho

- •Grau de alergenicidade (70%): 5
- •Adequação ao tipo de solo (30%): 10
- •Avaliação final: 6,5



Sobreiro

- •Grau de alergenicidade (70%): 5
- •Adequação do tipo de solo (30%): 10
- •Avaliação final: 6,5



Cipreste

- •Grau de alergenicidade (70%): 5
- •Adequação do tipo de solo (30%): 5
- Avaliação final: 5



Azinheira

- •Grau de alergenicidade (70%): 5
- •Adequação ao tipo de solo (30%): 10
- Avaliação final: 6,5



Salgueiro

- •Grau de alergenicidade (70%): 10
- •Adequação ao tipo de solo (30%): 5
- Avaliação final: 8,5



Plátano

- •Grau de alergenicidade (70%): 5
- •Adequação ao tipo de solo (30%): 5
- Avaliação final: 5



Bétula

- •Grau de alergenicidade (70%): 0
- •Adequação ao tipo de solo (30%): 5
- Avaliação final: 1,5



Eucalipto

- •Grau de alergenicidade (70%): 0
- •Adequação ao tipo de solo (30%): 0
- Avaliação final: 0



Oliveira

- •Grau de alergenicidade (70%): 0
- •Adequação ao tipo de solo (30%): 5
- Avaliação final: 1,5



Palmeira

- •Grau de alergenicidade (70%): 10
- •Adequação ao tipo de solo (30%): 0
- Avaliação final: 7

De uma forma geral, as escolhas feitas em especial nas rotundas e no Parque Urbano do Rio Diz, não tiveram em conta o grau de alergenicidade de algumas espécies. Podemos verificar a inclusão de Oliveiras nas rotundas e de Bétulas no Parque Urbano do Rio Diz em que em ambos os casos são espécies cujo grau de alergenicidade é elevado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, J. D., Freitas, H. (2001); "The exotic and invasive flora of Portugal"; *Botânica Complutensis*; 25; 317 – 327.

Atena, A. (2009); "Percepção Ambiental do Parque Urbano. Moinhos de Vento, Porto Alegre – RS, Brasil"; Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa.

Carvalho, J. (2009). "A Árvore no Espaço Urbano"; IV Jornadas do Ambiente. C.M. Vila Pouca de Aguiar.

Centro Regional de Informação das Nações Unidas. Endereço eletrónico: http://www.unric.org/pt/novedades-desenvolvimento-economico-e-social/15574 (Consultado em 21/04/2014).

Costa, M. (s.d.). "Espaços Verdes e Jardins Sustentáveis". Direção Regional de Agricultura e Pescas do Algarve.

Couto, M. e Morais de Almeida, M. (2011); "Diagnóstico da doença alérgica em Portugal: Um estudo exploratório"; *Rev Port Imunoalergologia*; 19(1); 23-32.

Ferreira, M. (2004). "Espécies Exóticas e Ornamentais". Folha Viva – Jornal dos Clubes da Floresta do Projeto Prosepe – Floresta conVida.

Ministério da Agricultura do Desenvolvimento Rural e das Pescas – Direção Geral dos Recursos Florestais. (2006); *Plano Regional de Ordenamento Florestal da Beira Interior Norte – Bases de Ordenamento*. http://www.icnf.pt/portal/florestas/profs/prof-da-beira-interior-norte. (Consultado em 26/04/2014).

Rede Portuguesa de Aerobiologia - http://www.rpaerobiologia.com/ (Consultado em 24/02/2014).

Torres, M., Silva, L. T., Santos, L., Mendes, J. F. G. (2013); "Saúde e bem-estar em meio urbano: das políticas à prática"; *Revista Portuguesa de Saúde Pública*; 31(1); 95 – 107.

Wolch, J., Byrne, J., Newell, J. (2014). "Urban green space, public health, and environmental justice: the challenge of making cities 'just green enough'"; *Landscape and Urban Planning*; 125(2014); 234-244.